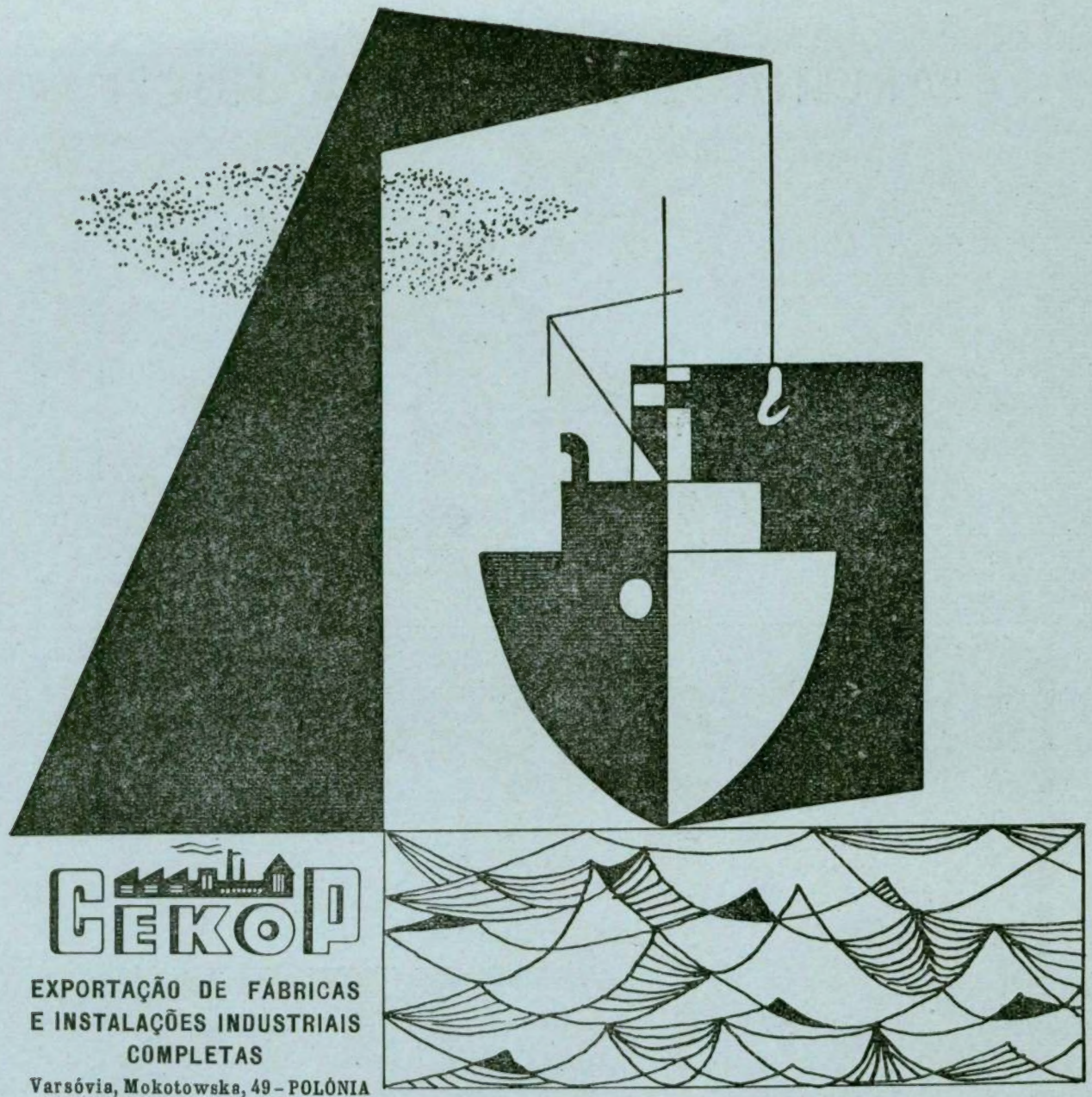


CONSTRÓI ESTALEIROS MARÍTIMOS E FLUVIAIS, DE CONSTRUÇÃO E REPARAÇÃO, COM ESTE PROGRAMA DE PRODUÇAO:

- **Rebocadores — Batelões — Traineiras de pesca, 500 - 1200 TDW**
- **Navios mercantes de todos os tipos, 2000-10000 TDW**
- **Navios de cabotagem**

Os estaleiros marítimos da nossa construção distinguem-se pela tecnologia de fabricação moderna

C. D. U. 669.719

ALUMINOTERMIA

PREPARAÇÃO DE METAIS E LIGAS METÁLICAS

POR MANUEL CHAGAS ROQUETTE
Engenheiro químico-industrial diplomado (I. S. T.)

A Aluminotermia é um ramo da metalurgia, velho de mais de meio século, mas sempre jóvem e progressivo, pela evolução da sua técnica. Além da aplicação generalizada em vários problemas de soldadura de metais (dos carris de caminho de ferro, por exemplo), detém posição marcante no vasto domínio da produção de metais e ligas metálicas de alta pureza.

1 — PROCESSO QUÍMICO

A redução da quase totalidade dos óxidos metálicos pelo alumínio é possível devido ao grande calor da formação da alumina:

$$2\ Al + \frac{3}{2}\ O_2 \rightarrow Al_2O_3 + 393{,}3\ Cal$$

Se compararmos esse valor com a quantidade de energia necessária para dissociar outros óxidos, a diferença é flagrante, como mostra o quadro anexo de calores moleculares de formação.

Uma particularidade feliz tem permitido o emprego industrial do processo: a alumina resultante da oxidação do alumínio é produto sólido, não volatizável, nas condições correntes de trabalho. E assim, não se verifica a combustão explosiva quando se emprega o alumínio, desde que se tomem os cuidados convenientes. Se estabelecermos a comparação com o magnésio, verificamos que este metal apresenta por átomo de oxigénio calor de formação de óxido superior ao do alumínio:

$$Mg + \frac{1}{2}\ O_2 \rightarrow OMg + 145{,}8\ Cal$$

ou seja:

para o magnésio .... 145,8 Cal/átomo grama de oxigénio

para o alumínio..... 131,1 Cal/átomo grama de oxigénio

Mas o gravíssimo inconveniente da oxidação explosiva do magnésio impede o emprego deste metal em processos de redução do tipo considerado. Deve haver mesmo especial cuidado no controle do teor de magnésio do alumínio utilizado. Por outro lado e devido à diferença dos calores de formação é possível o emprego de refractários à base de OMg no processo aluminotérmico.

O alumínio funciona portanto como redutor e fonte de calor, dispensando um redutor clássico à base de carbono, o que permite fabricar ligas e metais com teor despresível deste último elemento.

O início da reacção impõe que num determinado ponto se atinja temperatura suficiente para escorvar o processo, tendo em conta a elevada exotermicidade deste. Este objectivo pode ser alcançado por simples aquecimento local (ferro ao rubro, chama dum queimador, . . .), mas mais corrente e còmodamente efectua-se a ignição duma mistura de peróxido de bário e de alumínio finamente divididos:

$$3\ O_2Ba + 2\ Al \rightarrow Al_2O_3 + 3\ OBa$$

Basta que se atinja a temperatura conveniente para cada transformação num determinado ponto da carga, desde que a constituição desta tenha sido convenientemente calculada e submetida a rigoroso controle laboratorial, para que a reacção se propague e desenvolva. Consoante o balanço térmico do processo específico de aluminotermia haverá necessidade de moderar ou acelerar a reacção, objectivos que se conseguem seguindo determinados métodos gerais.

Para acelerar ou até tornar possível o início da reacção pode recorrer-se a prèaquecimento da

Calores moleculares de formação

Elemento	Óxido	Cal/molécula grama de óxido	Cal/átomo grama de oxigénio
Mg	O Mg	145,8	145,8
Al	O_3Al_2	393,3	131,1
Zr	O_2Zr	258,2	129,1
Ti	TiO_2	220,0	110,0
Si	SiO_2	205,0	102,8
Na	ONa_2	100,7	100,7
K	OK_2	97,1	97,1
Ta	Ta_2O_5	486,0	97,2
Cr	Cr_2O_3	288,9	96,3
Mn	OMn	96,5	96,5
Nb	Nb_2O_5	463,1	92,6
V	V_2O_5	437,0	87,4
Mn	O_4Mn_3	345,0	86,3
Zn	OZn	82,8	82,8
Mn	O_3Mn_2	233,0	77,7
Mo	MoO_2	142,8	71,4
Fe	O_4Fe_3	266,5	66,6
W	WO_2	131,4	65,7
Fe	O_3Fe_2	195,2	65,1
Fe	OFe	64,6	64,6
Mn	O_2Mn	123,0	61,5
Mo	MoO_3	180,4	60,2
Ni	O Ni	58,4	58,4
Co	O Co	57,2	57,2
Cr	CrO_3	147,9	49,3
Cu	OCu	35,0	35,0
Pt	OPt	17,0	17,0
Ag	OAg_2	8,3	6,7
Au	O_3Au_2	— 12,3	— 4,1

carga, a maior divisão do alumínio e dos outros constituintes da carga e à adição suplementar de certas matérias-primas (por exemplo, óxidos de ferro), susceptíveis de facilitar a libertação de maior quantidade de calor.

Para obter reacção mais moderada pode empregar-se quantidade de alumínio inferior à calculada teòricamente, recorrer a granulometrias mais grosseiras, efectuar tratamento prévio (do tipo calcinação, por exemplo) dos óxidos a tratar, com formação de compostos de redução menos violenta.

a) — **Redutor**

O alumínio funciona simultâneamente como fonte de energia e redutor. Emprega-se desde a grenalha, limalhas e aparas curtas até pó impalpável. A influência das suas dimensões é notável para a marcha do processo aluminotérmico. As granulometrias mais reduzidas do alumínio são utilizadas na preparação das escorvas.

O controle químico da qualidade do alumínio, nomeadamente dos teores em Mg, Si e outras impurezas, é também muito importante. Exige-se, em geral, teor não inferior a 99 %, com percentagens de magnésio tão baixas quanto possível, visto o magnésio ser responsável por explosões mais ou menos violentas.

A influência da granulometria dos vários constituintes da carga e nomeadamente do alumínio é considerada, a justo título, muito importante. Neste e noutros campos da aluminotermia efectuou o engenheiro alemão Dautzenberg numerosas séries de pesquisas sistemáticas que, além de esclarecerem e coordenarem princípios já revelados pelo empirismo industrial, tiveram o notável mérito de servirem de trabalho científico de base.

Dautzenberg verificou as melhores condições de trabalho sob o aspecto de granulometria para cargas onde existia, inicialmente, minério de titânio com as seguintes dimensões:

> 1,00 mm	0,12 %
0,75 a 1,00	1,11 %
0,50 a 0,75	10,12 %
0,30 a 0,50	33,80 %
0,20 a 0,30	20,10 %
< 0,20	34,75 %

Numa série de experiências foram conseguidos os resultados resumidos no gráfico anexo e que se podem concretizar do seguinte modo:

— os melhores rendimentos obtêm-se quando se faz reagir alumínio com granulometria semelhante à do minério;
— para granulometrias inferiores às do minério, o rendimento foi, no caso estudado, mais severamente afectado do que para granulometrias superiores;
— nota-se ainda, neste caso particular, certa desfasagem entre o teor máximo de Ti na

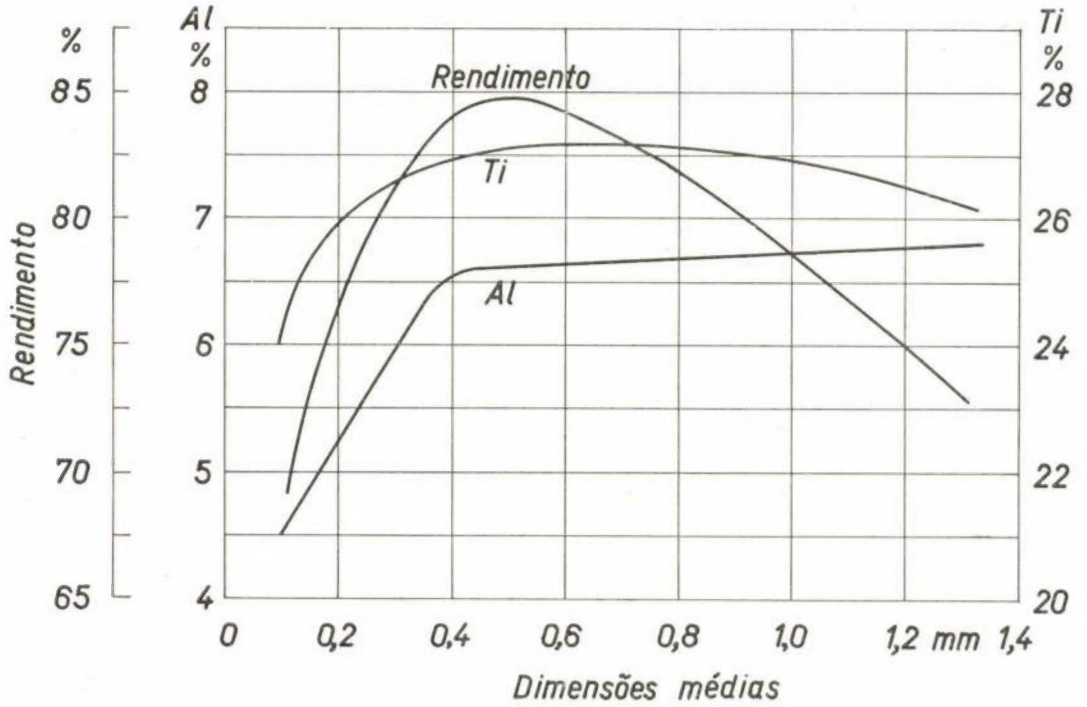
liga e o máximo de rendimento, só explicável por menores taxas de fixação dos outros elementos no ferro-titânio, dentro da zona considerada.

A influência da dimensão do alumínio empregado conta ainda na parte económica do processo devida à diferença de preço entre as diferentes granulometrias, por exemplo, limalhas e aparas de alumínio e o metal em pó fino. Jogando judiciosamente com as diferentes granulometrias dos constituintes pode ainda e com vantagem comandar-se a velocidade do processo e portanto características e rendimentos dos metais a fabricar.

O valor da relação entre a quantidade de alumínio utilizado e o peso teòricamente necessário vai também influenciar, e fortemente, as condições de marcha e a composição do produto final. Dum modo geral quanto maior for aquela relação mais elevado será o rendimento de fixação. Um ensaio realizado por Dautzenberg, de que se resumem também gràficamente os valores encontrados, é sob este aspecto bastante significativo. O limite prático de aplicação da regra anterior é determinado por considerações de natureza económica e, principalmente, pelo facto, como se verifica nas curvas estabelecidas a partir da experimentação de Dautzenberg, de que a maiores rendimentos de fixação do elemento fundamental (no caso considerado o Ti) correspondem também maiores rendimentos de fixação e portanto maiores teores doutros elementos (alumínio, silício...), geralmente considerados como impurezas e que, portanto, só podem ser tolerados até a certo valor no produto final.

PREPARAÇÃO ALUMINOTÉRMICA DO FERRO-TITÂNIO

Influência das dimensões do alumínio



b) — **Óxidos**

Na produção por aluminotermia de metais e ligas de alta qualidade exigem-se minérios com pureza elevada e características bem determinadas. Por vezes há necessidade de tratamentos prévios de concentração ou de transformação química. Não devemos esquecer que, devido à sua rapidez e modo de evolução, o processo aluminotérmico não permite intervenções de influência decisiva, durante o seu desenrolar: a carga inicial comanda o rendimento e a qualidade do produto final.

A análise química dos óxidos a reduzir tem de ser feita com cuidadosa minúcia: interessa sobre-

modo saber a quantidade de oxigénio contido, e o modo como se encontra combinado. A determinação laboratorial é decisiva na escolha, rejeição ou no estabelecimento do processo de beneficiação mais aconselhável dum minério a empregar em aluminotermia. Para que a redução pelo alumínio seja possível é necessário que o calor libertado por unidade de peso esteja compreendido entre determinados valores, abaixo dos quais a reacção não se verifica e acima dos quais ela se realiza de modo incontrolado ou com carácter explosivo.

Por outro lado, e sob o aspecto por vezes meramente económico, há que atender, no caso de compostos diferentemente oxidados do mesmo metal, ao consumo de alumínio, que se pode revelar excessivamente elevado, tornando o processo sem interesse económico.

A título de exemplo vamos comparar o comportamento de vários óxidos de manganês, quando reduzidos pelo alumínio:

a) o O_2Mn dá origem a reacção demasiadamente violenta, podendo assumir mesmo carácter explosivo:

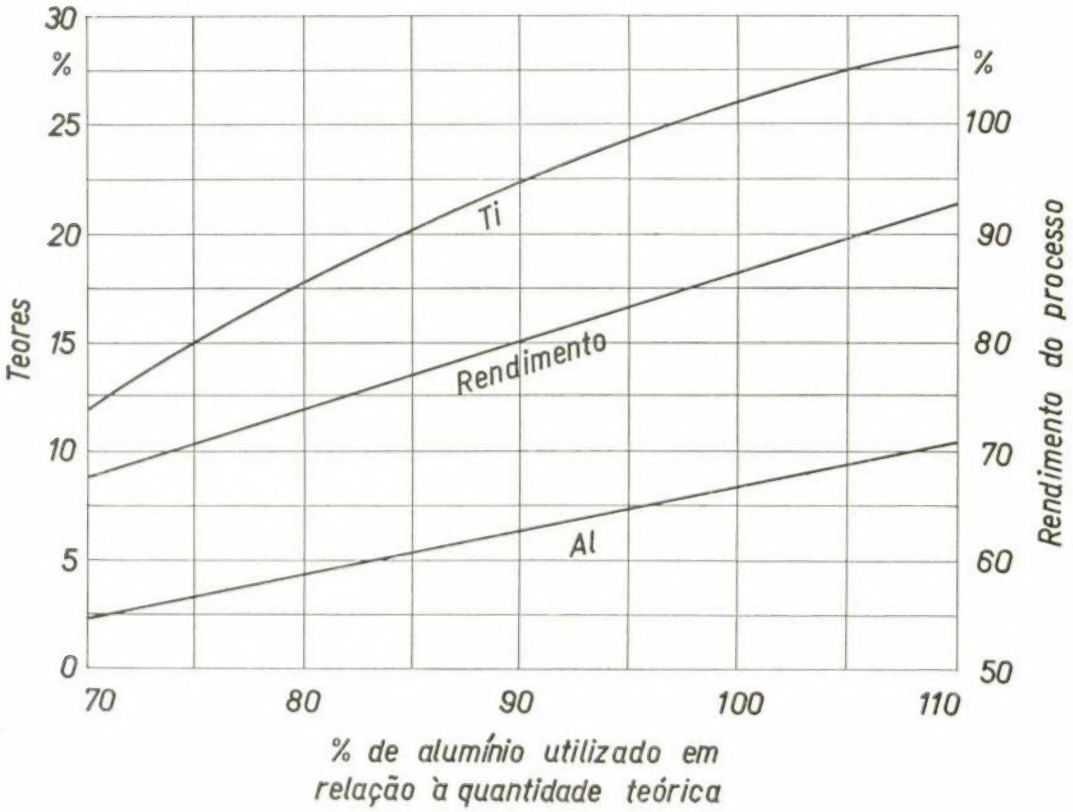
$$3\ O_2Mn + 4\ Al \rightarrow 2\ Al_2O_3 + 3\ Mn + 417{,}6\ Cal$$

b) dos vários compostos oxidados de manganês, é o O_4Mn_3 aquele que permite reacção aluminotérmica em condições mais favoráveis:

$$3\ O_4Mn_3 + 8\ Al \rightarrow 4\ Al_2O_3 + 9\ Mn + 578{,}2\ Cal$$

PREPARAÇÃO ALUMINOTÉRMICA DO FERRO-TITÂNIO

Influência da quantidade de alumínio



c) o OMn reagindo com o alumínio não liberta calor suficiente, nas condições correntes, para permitir a propagação do processo a toda a carga:

$$3\ OMn + 2\ Al \rightarrow Al_2O_3 + 3\ Mn + 103{,}8\ Cal$$

Para podermos comparar os calores de reacção, sob o ponto de vista de manutenção do processo, temos de os referir à tonelada de

mistura reagente (na base de constituintes puros) :

a) redução com o O_2Mn 1.120.000 Cal/t
b) redução com o O_4Mn_3 630.000 Cal/t
c) redução com o OMn 380.000 Cal/t

Da consideração destes últimos dados, que embora afastados se situam no mesmo nível de grandeza (nomeadamente os referentes às reduções de O_4Mn_3 e OMn), pode verificar-se da delicadeza da aplicação dos processos aluminotérmicos, que exigem, além de conhecimento das bases teóricas em que assentam, o recurso a uma série de habilidades e de técnicas que só a experimentação fornece. Já temos tido, quer em escala laboratorial, quer na prática industrial, a oportunidade de verificar e precisamente com o caso de redução de óxidos de manganês pelo alumínio, o valor dessa simbiose de conhecimentos científicos e de prática corrente em que assenta grande parte da aluminotermia.

c) — Matérias-primas acessórias

Além dos óxidos e do redutor, o processo aluminotérmico de fabricação de metais e ligas metálicas exige normalmente:

limalhas e sucatas de aço
escorificantes
escorvas

Para a obtenção dalguns tipos de produtos há necessidade de juntar determinada quantidade de ferro, sob a forma de limalhas ou de sucatas, a fim de se obter a composição desejada. É, por exemplo, o caso do ferro titânio, com baixo teor de carbono e com cerca de 25 % Ti. Nalguns casos, a quantidade de ferro fornecido pelos minérios pode dispensar ou reduzir a utilização deste tipo de matérias-primas, mas convém salientar que a consideração das quantidades de energia postas em jogo e portanto de prováveis temperaturas atingidas tem aspecto decisivo no caminho a seguir, relativamente à introdução do elemento ferro.

Os escorificantes, variáveis consoante as condições do processo, têm por fim formar com a alumina e outros óxidos aluminatos de ponto de fusão mais baixo, que podem ainda permitir a eliminação de componentes nocivos, como sejam o fósforo e o enxofre. Os mais empregados são cal, alumina, feldspato e espato fluor. Frequentemente usam-se misturas e tipos de escorificantes que dão origem a escória vendável, por exemplo, com elevado teor de alumina e baixa percentagem de cal, se aquela se destina ao fabrico de materiais refractários.

A escorva é uma mistura fàcilmente inflamável, que tem por missão iniciar o processo. Utiliza-se em muito pequena quantidade, bem seca e finamente dividida. A mistura mais corrente é constituída por 5 partes de peróxido de bário e 2 partes de pó ou de grenalha de alumínio, que podem ser incendiados por meio de papel ou madeira. Quando se utiliza pó de alumínio pode efectuar-se a ignição adicionando algumas gotas de água. Juntamente com permanganato de potássio também finamente moído, a ignição verifica-se pela junção dumas gotas de glicerina. A carga de ignição é também incendiada correntemente com o emprego duma lança de acetileno ou doutro gás combustível.

2 — REALIZAÇÃO INDUSTRIAL

a) — Diagrama de fabrição

As matéras primas (minérios, escorificantes, alumínio, sucatas) são misturadas e introduzidas nos fornos de aluminotermia. Quase sempre e muito especialmente nas unidades de maior capacidade só se carrega no início parte do forno, juntando-se ràpidamente a restante carga logo que o processo começa. A reacção inicia-se por ignição da escorva, com pequena quantidade de carga, à qual se vão juntando pouco a pouco novas quantidades até se completar o carregamento. Conforme a temperatura atingida no processo e natureza deste, será o metal vasado ou retirado em bloco, por desmontagem do forno cadinho. Uma das medidas de prudência elementar consiste na secagem eficiente dos fornos, antes da sua utilização.

O metal produzido e a escória são fragmentados e moídos. A britagem do metal consegue-se por meio de emprego de martelos de ar comprimido ou utilizando moinhos adequados. As escórias sofrem tratamento paralelo. O interesse da recuperação da escória depende do teor e valor de elementos metálicos ainda contidos nela e do

custo da respectiva recuperação. Há escórias que sofrem dois tratamentos consecutivos com bom resultado económico; outras que pelo contrário são ou simplesmente lançadas em entulheiras ou empregadas tal qual como matérias primas para o fabrico de abrasivos, materiais refractários, revestimento de fornos da própria instalação de aluminotermia ou para construção de pavimentos.

b) — **Fornos de aluminotérmia**

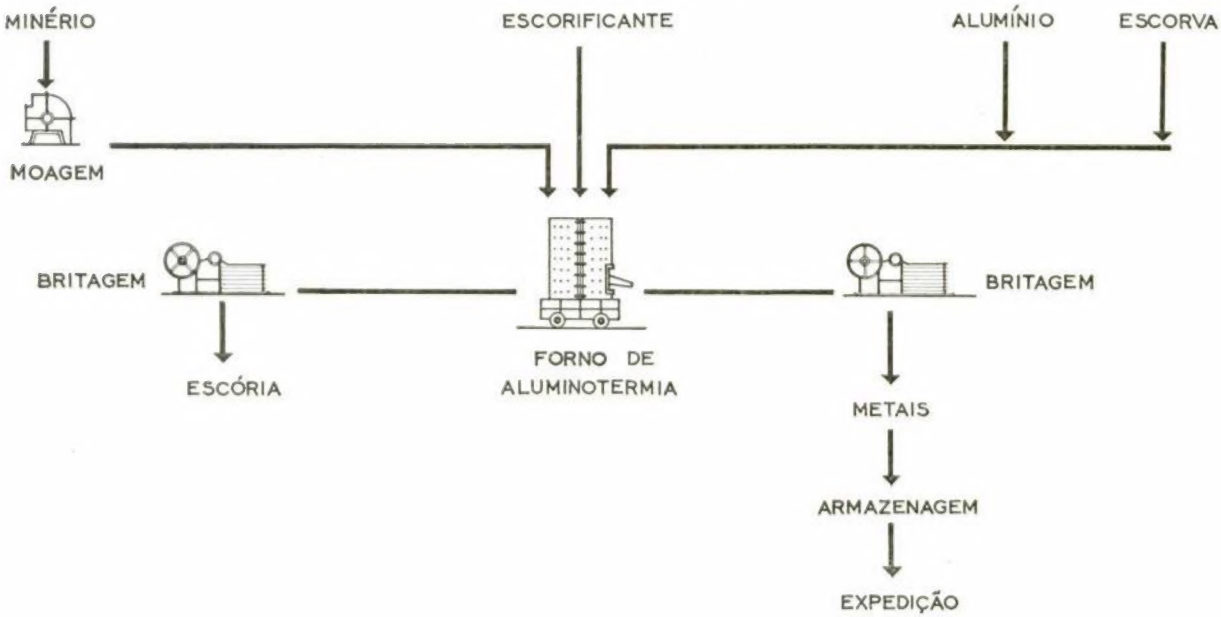
Os fornos utilizados na produção por aluminotérmia de metais e ligas metálicas são de funcionamento discontínuo e do tipo de cadinho, de revestimento refractário adequado ao processo. Este último que é de realização brutal ocupa desde poucos minutos até 30 a 45 minutos, nas maiores unidades (capacidades da ordem de 2 toneladas de metal). E assim, o forno de aluminotermia, cujo revestimento pode levar alguns dias a construir e a reparar, é utilizado apenas alguns minutos de cada vez. Este condicionamento provoca que seja prática corrente a montagem dos fornos em carros fàcilmente deslocáveis ou o recurso a ponte rolante ou mono-rail, para sua movimentação. A primeira solução usa-se principalmente quando o processo decorre em câmaras fechadas com captação de poeiras e de gases (é o caso do tratamento dos minérios ricos de vanádio).

Em vários tipos de fabricação o metal produzido não sangra, devido ao seu ponto de fusão e viscosidade elevados ou ainda às características das escórias obtidas. Nesta hipótese, ou o forno é formado por uma camisa cilíndrica refractária, protegida exteriormente por chapa metálica que se pode levantar no fim do processo e que assenta, durante este, sobre um carro com areia ou outro material suficientemente refractário, ou se impõe o desmantelamento integral do forno para libertar o bloco do produto fabricado.

Externamente os fornos de aluminotermia são protegidos por ligeira blindagem metálica. O revestimento interior é de material refractário constituído correntemente por misturas aglomeradas de magnésia calcinada e de escórias do próprio processo. A constituição adequada deste revestimento refractário é uma das condições de sucesso do processo, pelo que cada instalação fabril guarda ciosamente a sua técnica. Convém haver sempre o maior cuidado na consistência, porosidade e composição química do revestimento refractário, visto o grande poder redutor do alumínio e a maneira rápida, quase instantânea,

ALUMINOTERMIA

Diagrama de fabrico



como se estabelece o cadinho de fusão. Na aluminotermia não é possível, ao contrário do que sucede com outros processos metalúrgicos, a formação à custa das próprias matérias primas e escórias duma camada de protecção para o revestimento refractário do forno.

Em muito poucos processos se consegue sangrar a escória, que quase sempre fica retida no forno e é desmantelada no fim. Nos raros casos em que se efectua a extracção parcial ou quase completa da escória a construção da respectiva boca deve merecer cuidado especial.

c) — Produtos fabricados

Fabricam-se correntemente por aluminotermia vários metais e ligas, de que apontamos alguns dos mais importantes:

Cobre-manganês
Crómio-metal
Ferro-titânio
Ferro-vanádio
Ferro-zircónio
Manganês-metal
Níquel-manganês
Vanádio-metal

Outros produtos que se podem ainda fabricar por aluminotermia são normalmente obtidos por outros processos mais económicos (forno eléctrico, sílico-termia, electrólise ...). Estão nestas condições:

Ferro-crómio
Ferro-manganês
Ferro-tungsténio
Silício-metal

Há ainda casos em que o processo aluminotérmico concorre com outros sistemas de fabricação (por exemplo, manganês-metal, obtido também por via electrolítica, e ferro-titânio produzido em forno eléctrico). Condições específicas da indústria (preço da energia eléctrica e dos redutores, custo e encargos da instalação) e ainda as características do produto consoante se obtém por via aluminotérmica ou por outro método, implicam a escolha do processo técnica e econòmicamente mais conveniente.

Numa tabela anexa indicam-se análises típicas de produtos fabricados em larga tonelagem por aluminotermia. A observação dos valores inscritos permite tirar as seguintes conclusões sobre as características químicas daqueles produtos:

— o baixo teor de carbono, que normalmente não se obtém em forno eléctrico de redução (não esqueçamos que, por exemplo, a fabricação em forno eléctrico de ferro-crómio de baixo carbono impõe correntemente o trabalho em três escalões, no último dos quais se efectua a afinação final);
— para certos produtos um teor de Al e Si relativamente elevado, o que se justifica pelas condições em que decorre o processo aluminotérmico.

Como corolário do processo aluminotérmico se conclui da enorme influência da pureza das matérias-primas utilizadas e do cuidado que deve haver no cálculo da carga, visto que o processo uma vez iniciado e dada a sua rapidez, não permite adições nem modificação sensível do leito de fusão, durante a sua realização. As condições iniciais de trabalho serão decisivas e determinarão as características do produto final a obter.

c) — Domínio de aplicação

Ficou atrás apontado que o processo aluminotérmico é actualmente o melhor método industrial, sob o ponto de vista técnico e económico, de preparação de determinados tipos de metais e de ligas metálicas de elevada pureza. Por vezes, embora existam outros processos, consegue a aluminotermia oferecer vantagem, quer sob o ponto de vista de qualidade do produto fabricado, quer ainda sob o aspecto de viabilidade prática. Por outro lado, se existem domínios em que o processo aluminotérmico não está sòzinho em campo e em que são os factores económicos que justificam ou não a sua utilização, noutros casos a aluminotermia é o único meio técnico e econòmicamente viável de produzir produtos de alta pureza química e de boa estrutura física, pelo emprego de temperaturas muito elevadas. Nas condições em que o processo decorre (com boa técnica, matérias-primas de alta qualidade e revestimento adequado dos fornos) não há que temer impurificações devidas a eléctrodos, carvões ou refractários.

Em Portugal impõe-se, à semelhança do que se verifica noutros países europeus não favore-

PRODUTOS OBTIDOS POR ALUMINOTERMIA

Análises Típicas

	Cr	Mi	Ti	Va	Fe	Al	Si	C	P	S	Cu	Pb
Crómio metal	98,73 %				0,47 %	0,32 %	0,41 %	0,04 %		0,03 %		
Manganês metal		95,80 %			1,05 %	1,46 %	1,30 %		0,29 %	0,09 %		0,1 %
Ferro-titânio			19,3 %			3,48 %	3,42 %	0,04 %			0,62 %	
Ferro-vanádio				81,1 %	16,1 %	0,68 %	0,36 %	0,07 %	0,005 %	0,058 %	0,03 %	

cidos pela ocorrência de matérias-primas em condições vantajosas, um desenvolvimento da indústria de produtos de qualidade, como condição de sobrevivência económica. Dentro desse caminho, que é afinal o resultado de condicionamentos até certo ponto alheios à vontade do homem, iniciou-se no nosso País a instalação desta indústria, que deverá ter na exportação o escoamento da maior parte dos seus produtos.

Muito recentemente produziram-se em escala experimental, pela primeira vez entre nós, alguns metais e ligas fabricados por aluminotermia nomeadamente manganês metal. Contamos que no próximo ano este sector incipiente da nossa actividade metalúrgica tenha atingido laboração normal.

BIBLIOGRAFIA

A. A., Ore Requirements of the Ferro-Alloy Industry, Metal Bulletin, pag. 17, Novembro 1958.

Arkel, Reine Metalle — Ed. Springer, Berlin, 1939.

Burchell, The Aluminothermic Process and the Preparation of Commercially Pure Chromium, Manganese and Special Alloys — «The Refining of Non-Ferrous Metals» — Ed. Instution of Mining and Metallurgy, Londres, 1950.

Coutagne, La fabrication des ferro-alliages — Ed. Baillière, Paris, 1924.

Dautzenberg, W., Die aluminothermische Gewinnung von Manganmetall. Achen: Diplom-Arbeit T. H. 1942.

Dautzenberg, W., Untersuchungen über die Herstellung von Mangan,Ferrotitan Chrom. Aachen: Diss T. H. 1946.

Durer e Volkert, Die Metallurgie der Ferrolegierungen — Ed. Springer, Berlin, 1953.

Eljutin, Pawlow, Levin, Ferrolegierungen — Veb Verlag Technik, Berlin, 1953.

Gayler, M. L., Preparation of pure Manganese. J. Iron and Stell Inst., Bd. 115 (1927) S. 393.

Gfe, programa de fabricação (folheto) — Ed. Gfe, Düsseldorf, 1956.

Gfe, Einfluss und Praktische Anwedung der Legeriungselemente bei Stahl und Gusseisen — Ed. Gfe, Düsseldorf.

Giesen e Dautzenberg, Untersuchung über die Aluminothermie des Mangans, Arch. f. Mettallkde., H2, S 49-53, 1948.

Giesen e Dautzenberg, Aluminotherm Gewinnung von Ferrotitan — Z. Stahl und Eisen, H. 9/10, S-159-162, 1948.

Giesen, K., u. W. Dautzenberg, über d. Beeinflussung d. Kieselsäure-Reduktion b. d. aluminothermischen Herstellung von Mangan. Z. Metallforsch. 1947, H. 12, S. 355-362.

Giesen, K., u. W. Dautzenberg, Aluminotherm. Gewinnung von Ferrotitan. Z. Stahl und Eisen 1948, H. 9/10, S. 159-162.

Goldschmidt, Aluminothermie. — Ed. Hirzel, Leipzig 1925.

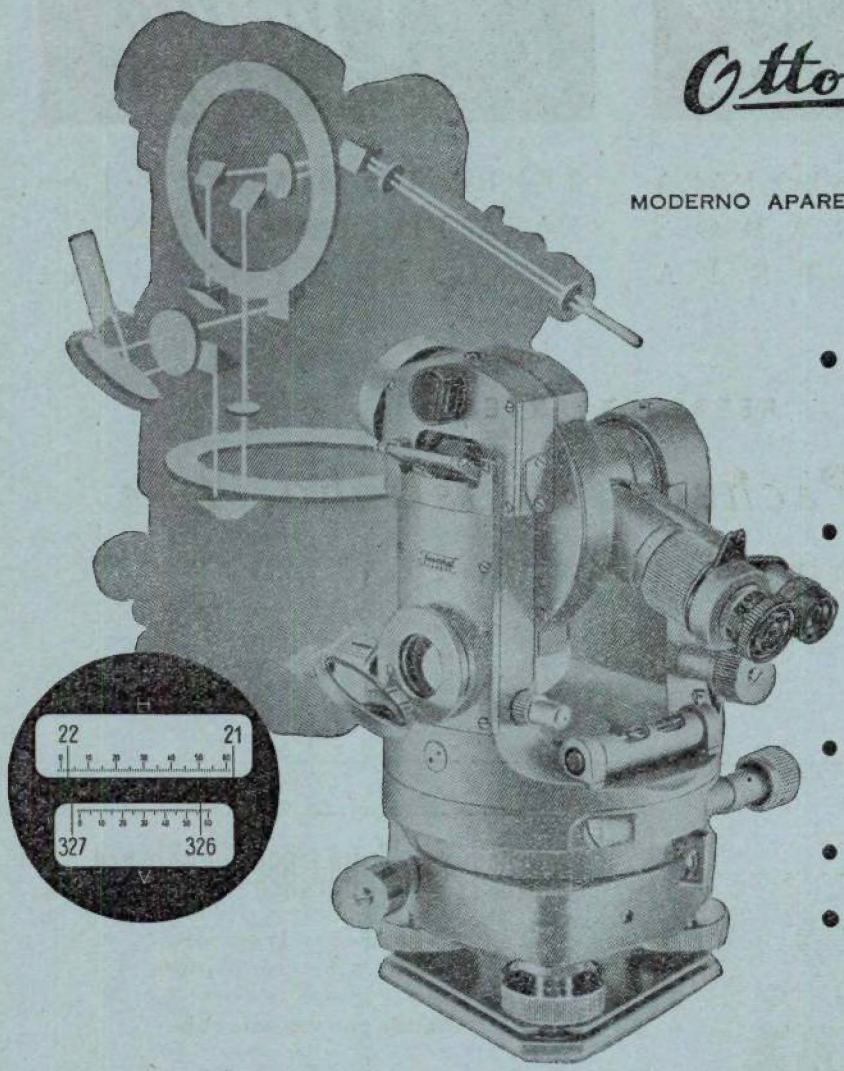
Pohl, Die Ferrolegierung (folheto) — Ed. Gfe, Berlin, 1944?

Roquette, Metalurgia do Ferro-Titânico — Comunicação 26 do II Congresso da Indústria Portuguesa, Lisboa, 1957.

Roquette, Ferro-Titânio — Revista Técnica n.º 279, Lisboa, 1958.

Srankle, Vanadium in steels, Metal Bulletin, pag. 103, Novembro 1958.

TEODOLITO TAQUEOMÉTRICO FTI



Otto-Fennel

MODERNO APARELHO DISPONDO DE:

- Observação simultânea dos dois limbos pelo microscópio colocado ao lado da ocular da objectiva
- Leitura por sistema directo de 1c e décimos por estimativa
- Leitura do nível vertical por coincidência
- Prumo óptico
- Grande luminosidade

Características ópticas e mecânicas

Telescópio analáctico com lente de focagem interna, retículo medidor de distância, telescópio reversível com o extremo da objectiva.

Constante de adição	zero
Constante de multiplicação	100
Comprimento do telescópio	190 mm
Abertura da objectiva	36 mm
Ampliação	28 x
Distância mínima de mira	1 m
Nível redondo	6' a 8'
Nível de reversão	30"
Nível de horizontalidade paralelo ao eixo de inclinação	40"

Nível junto ao círculo vertical legível por ajustamento da coincidência 40". Passo circunferencial sobre círculos de vidro 360° ou 400 g, de 1° ou de 1 g.

Diâmetro do círculo horizontal 90 mm, do círculo vertical 70 mm

Leitura directa horizontal	1'	1 c
Leitura por avaliação	1'	1 c
Leitura directa vertical	0,1' = 6"	0,2 c = 20cc
Leitura por avaliação	0,2' = 12"	0,25c = 25cc

Pesos: Instrumento 4,7 kg, Tripé com pés extensíveis 6,0 kg, Caixa metálica 4,0 kg

REPRESENTANTES

PAPELARIA FERNANDES — S. A. R. L.

L. DO RATO, 13 — TELEF. 68 21 31/37 — R. DO OURO, 145 — TELEF. 28361/36 85 41

LISBOA

FILTROS DE PRESSAO PARA TODOS OS RAMOS DA INDÚSTRIA

TERRA DE DIATOMÁCEAS PARA FILTRAÇÃO, TINTAS, ISOLAMENTOS, ETC.

REPRESENTANTES

António Pacheco Agostinho, Lda.

Rua Rodrigues Sampaio, 15, 2.º Dt.º

Telefone 54191

LISBOA

Empresa de Fundações Capblanch, L.da

Fundações Especiais
Estacas a ar comprimido
(por processo patenteado)
Sondagens e Injecções

Estacas na fundação de um pilar de ponte

Rua do Alecrim, 38-2.º — Telef. 21 265
LISBOA — 2

C. D. U. 624.131.375
627.824 — 131.375

NOTA SOBRE O ADENSAMENTO DE TERRENOS NÃO SATURADOS

JOSÉ FOLQUE

Chefe da Secção de Fundações do
Laboratório Nacional de Engenharia Civil

SUMÁRIO

Para estudos de controle da construção de barragens de terra, tem o Laboratório Nacional de Engenharia Civil efectuado numerosos ensaios de adensamento sobre amostras compactadas no laboratório e retiradas do corpo dos aterros.

O andamento geral dos ensaios permite efectuar a caracteriza reológica da estrutura que constitui a fase sólida, o que por sua vez tem aplicacão nos cálculos de previsão das tensões neutras desenvolvidas nos maciços durante a fase de construção.

Apresenta-se nesta nota uma discussão sucinta de alguns dos resultados obtidos.

1 — ADENSAMENTO HIDRODINÂMICO E SECUNDÁRIO

Como é sabido costuma-se distinguir três fases no processo de adensamento. A fase de deformações imediatas que corresponde a deformações elásticas dos constituintes do corpo de prova, a fase de adensamento hidrodinâmico que corresponde a deformações condicionadas pela expulsão de água dos poros e a fase de adensamento secundário ou secular que correspnde a deformações a tensão constante (fluência) do esqueleto que constitui a fase sólida do corpo.

Este esquema constitui uma descrição não elaborada de um processo, descrição que talvez ganhe em clareza se for posta noutros termos. E assim dir-se-á que ao processo de adensamento correspondem dois tipos de deformação sucessivos: deformação imediata e deformação função no tempo da fase sólida do corpo (1)

$$\delta = \delta i + \int_0^t \psi (t - \theta) \, \bar{\sigma} (\theta) \, d\theta \qquad (1)$$

em que $\bar{\sigma}(\theta)$ é a lei de evolução no tempo da tensão que incide sobre a fase sólida, e que é costume designar por tensão efectiva. $\psi (t - \theta)$ exprime as características de fluência (deformação a tensão constante) do corpo, estreitamente ligadas ao coeficiente de viscosidade da fase sólida, interpretado este termo no seu sentido mais lato de conjunto de grãos sólidos e água adsorvida.

(1) Vialov, S. S. e A. M. Skibitsky, Rheological Processes in Frozen Soils and Dense Clays, Proceeding IV Conference on Soil Mechanics, Londres, 1957.

Recordando que a tensão total é a soma da tensão efectiva e da tensão neutra

$$p = \bar{\sigma} + u$$

vem que no caso de uma amostra saturada, a deformação imediata acarreta como consequência uma entrada em pressão do líquido intersticial, pressão que toma o valor $u = p$. Consequentemente $\bar{\sigma} = 0$ e o adensamento hidrodinâmico consistirá na transferência de tensões da água para a fase sólida, condicionada pela expulsão da água, tomando a função $\bar{\sigma}(\theta)$ valores crescentes tendendo assintòticamente para $\bar{\sigma} = p$ ao que corresponderá $u = 0$. Para valores muito pequenos de u, $\bar{\sigma}$ é pràticamente constante, e o 2.º termo de (1) assume o valor $\bar{\sigma}_f \int_0^t \psi (t - \theta) \, d\theta$, quer dizer, entra-se numa fase de deformações a tensão constante, $\bar{\sigma}_f = p$, que é designada por adensamento secundário ou secular.

Posta a questão nestes termos, vem que um corpo saturado totalmente impedido de sofrer drenagem, não apresenta deformações função do tempo, por ser permanentemente nulo o 2.º termo de (1) (curva a - fig. 1). Por outro lado, podem-se conceber situações em que, logo a seguir às deformações imediatas, as deformações tenham características de fluência pura. Será o caso de um corpo de alta permeabilidade e, ou muito reduzidas dimensões, em que a dissipação de u é pràticamente instantânea e portanto $\bar{\sigma}(\theta) = \text{const}$ — (curva s - fig. 1). Para o mesmo material, mas aumentando as dimensões do corpo, as curvas de deformação ir-se-ão escalonando

como as curvas h_1, h_2, h_3, (fig. 1), representativas de camadas de espessuras h_1, h_2, h_3, sendo, $h_3 > h_2 > h_1$. O atraso na deformação, W, representa a consequência das tensões efectivas $\bar{\sigma}(\theta)$ actuantes até ao instante t, terem assumido valores sensìvelmente inferiores a $\bar{\sigma}_f$. Por isso, quanto mais rápida for a dissipação de tensões neutras menor é o atraso, e no caso limite de a dissipação ser instantânea, a deformação é de fluência, para a tensão constante $\bar{\sigma}_f = p$. Como é sabido, na teoria de adensamento de Terzaghi deduz-se a correlação entre as velocidades de deformação na fase de adensamento hidrodinâmico e as dimensões dos corpos de prova.

Outra situação em que as deformações serão predominantemente de fluência é o caso de a viscosidade da fase sólida ser muito elevada, quer dizer, de as deformações da fase sólida a tensão constante, se processarem a velocidade muito pequena em comparação com a permeabilidade do corpo. Então, embora a água intersticial não seja expulsa instantâneamente, será expulsa mais ràpidamente do que o necessário para transferir a tensão para a fase líquida. Quer dizer que também todo o processo se passará a $\bar{\sigma}(\theta) = \text{const}$.

Por fim, outra situação em que as deformações serão predominantemente da fluência, é o caso de corpos não saturados, enquanto as deformações não fazem aproximar o grau de saturação dos 100 %. Aqui acontece que, devido à grande deformabilidade do ar, a deformação inicial induz pressões neutras não muito grandes e que sobretudo se mantém pràticamente constantes para as pequenas deformações subsequentes à deformação inicial. É ainda um caso de $\bar{\sigma}(\theta) = \text{const}$.

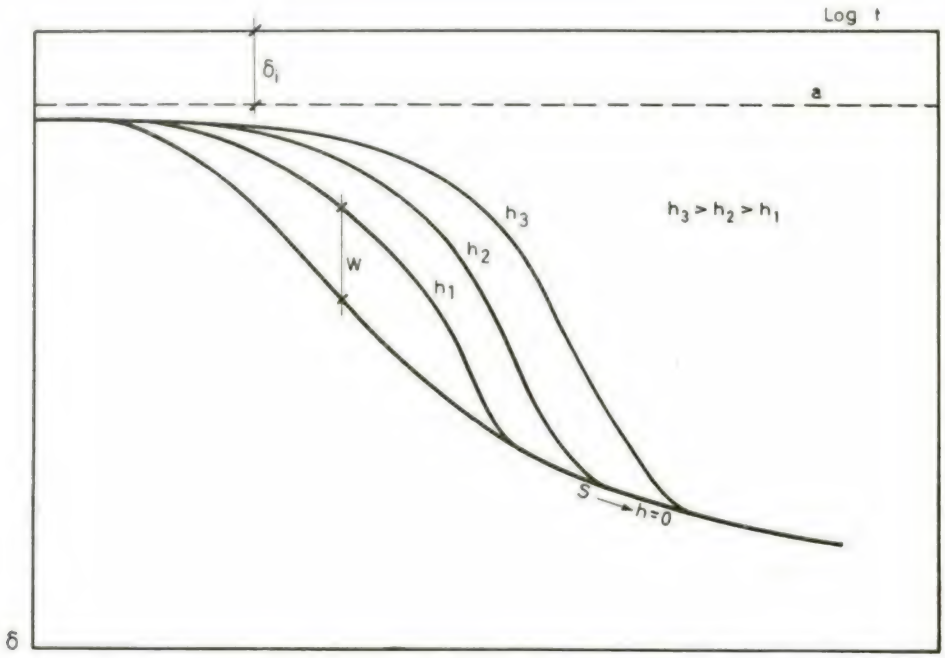


Fig. 1

É de sublinhar que uma das características diferenciais mais importantes entre o adensamento secundário e o hidrodinâmico, é que o primeiro, ao contrário do segundo, processa-se a velocidades que não dependem das dimensões dos corpos de provas.

Uma série de 24 ensaios foi conduzida sobre amostras de terras argilosas com as características resumidas no Quadro I. Estas amostras tinham 8 cm de espessura e 320 cm² de secção. Os resultados conduziram a curvas de deformação com o tempo pràticamente coincidentes para todas as amostras. A curva média (obtida por média das ordenadas das curvas representativas de cada um dos ensaios), para a tensão de

2 kgcm^{-2} está representada na fig. 2 (curva «a»), num diagrama logt — deformações unitárias.

QUADRO I

Teor de humidade de compactação (%)	Peso específico aparente seco (g. cm — 3)	Grau de saturação (%)
15,4	1,84	91,6

Outra série de ensaios foi conduzida em 8 provetes dos mesmos terrenos, mas com dimensões diferentes: espessura de 2 cm e secção de 25 cm^2.

Obtiveram-se resultados que levam a uma curva média pràticamente coincidente com a curva correspondente a amostras de 8 cm de espessura. Não se representa essa curva na fig. 2, por ela ser, à escala do desenho, indestrinçável da curva «a», como se pode verificar na Tabela que a seguir se apresenta.

QUADRO II

t (min.)	Am. h = 8 cm $\delta \times 10^3$	Am. h = 2 cm
4	4,25	4,25
9	4,45	4,40
10	4,75	4,75
64	5,70	5,75
480	6,70	6,70

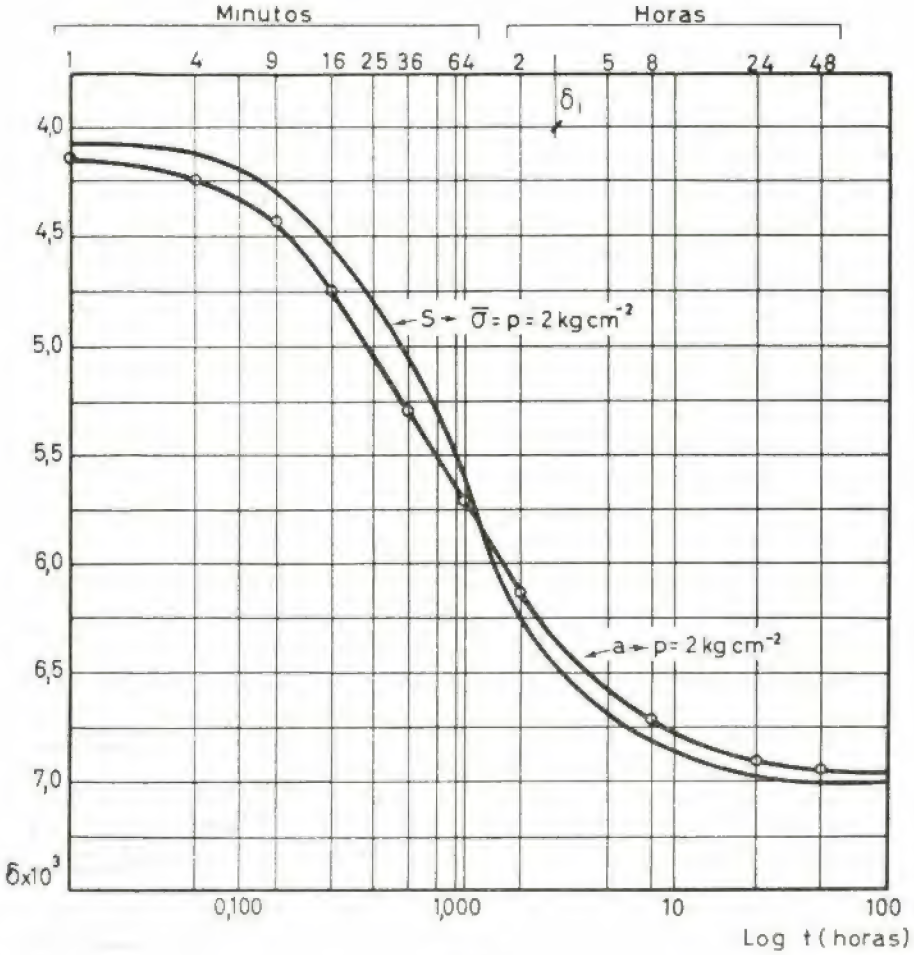


Fig. 2

Conclui-se, da identidade da evolução no tempo do processo de adensamento de amostras com espessuras tão diferentes, que a fase hidrodinâmica de adensamento é pràticamente inexistente,

quer dizer, que como consequência de se tratar de amostras não saturadas, o adensamento processado é predominantemente de influência.

2 — FLUÊNCIA DA FASE SÓLIDA

Aceitando que o adensamento observado nos ensaios referidos é totalmente imputável a fluência, as curvas de evolução do adensamento com o tempo permitem determinar os parâmetros da curva de fluência da fase sólida.

Procurou-se, entre os comportamentos reológicos simples, um que pudesse corresponder ao andamento das curvas obtidas. Os corpos abrangidos pelo comportamento que é usual designar por «corpo de Kelvin» exibem deformações no tempo do tipo das observadas.

A curva de fluência de um corpo de Kelvin é da forma (1)

$$\delta = \delta_1 + K\,(1 - e^{-\alpha t})$$

(1) Reiner, Twelve Lectures on Theorical Rheology, Amsterdam, 1949.

Procurando ajustar uma equação desta forma à curva «a» da fig. 2, vem que para valores de $K = 0{,}003$ e de $\alpha = 0{,}01$, se obtém a curva «s» (fig. 2). Como da figura se depreende, é muito razoável a concordância obtida.

3 — ADENSAMENTO SEM DRENAGEM

Ensaios conduzidos sobre amostras encamisadas em borracha, no intuito de impedir a sua drenagem, levaram a resultados que diferem sensìvelmente dos obtidos em provetes drenados. Na fig. 3 mostram-se as curvas representativas dos dois tipos de ensaio.

Pode-se interpretar esta discrepância atribuindo-a ao desenvolvimento de tensões neutras que dado o impedimento de drenagem da amostra, tendem a estabilizar o valor constante, não nulo.

Para uma amostra com 92 % de grau de saturação, vem que ela possui um volume de ar de 0,026 na unidade do volume total. O adensamento sob a tensão de 2 $kgcm^{-2}$ viu-se (fig. 2)

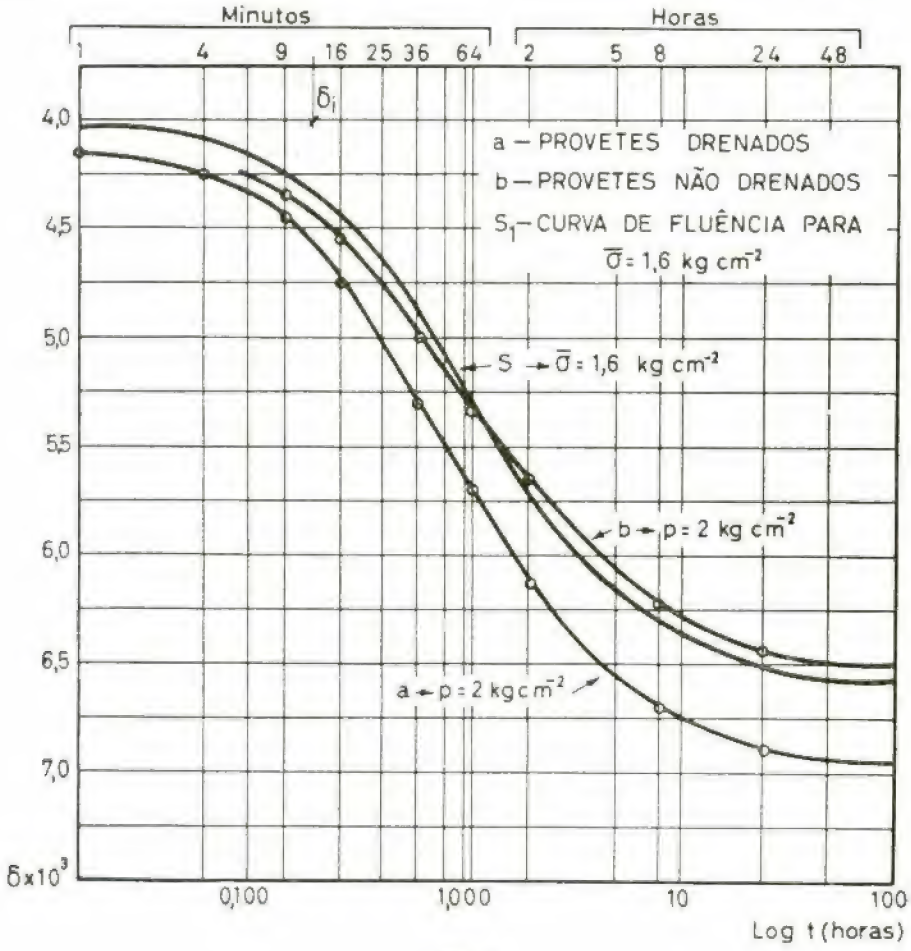


Fig. 3

que provoca assentamentos unitários da ordem dos 0,007. Vem portanto que, em relação ao estado inicial, a amostra sofre uma diminuição de volume de 0,007 por unidade de volume. Porque o ar, no início do adensamento, estaria à pressão atmosférica, p_o, pode-se calcular a pressão no ar após o adensamanto, p_a, pela aplicação da lei de Boyle,

$$p_o V_o = (p_o + p_a) \ (V_o - \Delta_v)$$

donde

$$p_a = 0{,}37 \ \text{Kgcm}^{-2}$$

Demonstra-se (1) que a tensão na fase fluída é a soma da tensão no ar e da tensão capilar na água intersticial

$$p = \bar{\sigma} + p_a + p_c$$

Ora P_c é, para um dado terreno e um dado teor de humidade, pouco influenciado pelo estado de tensão. Daqui vem que

$$\Delta p = \Delta \bar{\sigma} + \Delta p_a$$

Portanto, na passagem da tensão total de 0 a 2 kgcm^{-2}, será

$$\Delta \bar{\sigma} = 2 - 0{,}37 = 1{,}63 \ \text{kgcm}^{-2}$$

Vem portanto que se pode prever com base no exposto que o adensamento sofrido pela amostra impedida de drenar, seja o que corresponde a uma deformação final causada por fluência para

$$\bar{\sigma} = 1{,}63 \ \text{kgcm}^{-2}$$

Na fig. 3 a curva s_1 representa o processo de fluência do terreno, para os parâmetros α e K já deduzidos e para $\bar{\sigma} = 1{,}60 \ \text{kmcm}^{-2}$. Como se vê é notável a concordância entre a curva assim obtida e a correspondente aos valores observados (curva b).

4 — CONCLUSÕES

Em estudos de barragens de terra, atendendo às grandes dimensões dos maciços em causa, é legítimo considerá-los como estando na situação de drenagem totalmente impedida. Poder-se-á então fazer o cálculo de previsão das tensões neutras, para a fase de construção, a partir dos resultados de ensaios de adensamento. Os resultados apresentados nesta nota constituem uma confirmação adicional da validade de aplicação da lei de Boyle ao cálculo das pressões intersticiais. a partir do conhecimento das variações de volume das amostras. E parecem também indicar que o transporte dos resultados do laboratório para o campo se poderá fazer sem ter de atender a qualquer escala de tempos função das dimensões das amostras e do maciço em estudo, contanto que o grau de saturação não se aproxime muito dos 100 %.

(1) Hilf, J. W., Technical Memorandum 654, Bureau of Reclamation, Oct. 1956

C. D. U. 621.311.5/91

Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional

— Elementos extraídos das estatísticas mensais do Repartidor Nacional de Cargas (R. N. C.)

NOTA: *As produções e os consumos das empresas do R. N. C. representam cerca de 92,0 % dos totais do País.*

ABRIL

I — Breve nota mensal

Sob o ponto de vista hidrológico, o mês de Abril apresentou-se, no conjunto, bastante acima da média.

II — Elementos gerais (GWh)

a) Mensais

	1958	1959	Variação %
Produção hidráulica (P_h) . . .	191,8	213,4	+ 11
Produção térmica (P_t)	0,0	0,0	—
Produção total (P_T)	191,8	213,7	+ 11
Cons. não perman. (C_{np}) (1)	52,1	54,8	+ 5
Cons. permanentes (C_p) . . (1)	134,4	152,6	+13,5 (2)
Consumo total (C_T) . . . . (1)	186,5	207,4	+ 11

b) Acumulados desde 1 de Janeiro de 1959

	1958	1959	Variação %
Produção hidráulica (P_h) . . .	731,7	924,9	+ 26
Produção térmica (P_t)	39,2	0,3	— 99
Produção total (P_T)	770,9	925,2	+ 20
Cons. não perman. (C_{np}) (1)	158,5	238,7	+ 51
Cons. permanentes (C_p). . . (1)	580,1	657,7	+13,4 (2)
Consumo total (C_T) . . . . . (1)	738,6	896,4	+ 21

Notas:

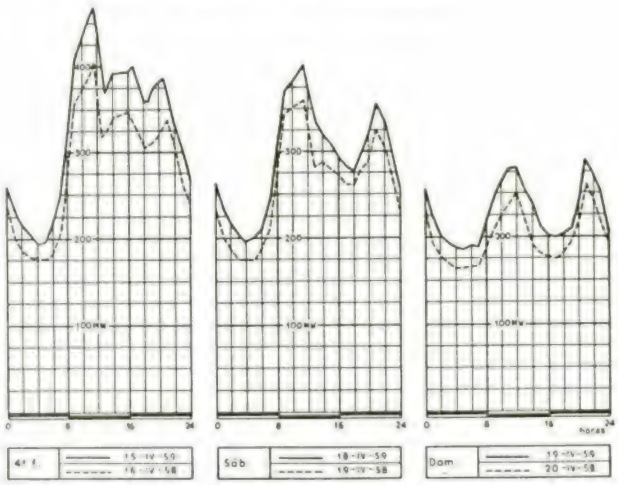
(1) Vide nota referente a Jan. 1959.

(2) O aumento percentual dos consumos permanentes, tendo em conta a incidência dos domingos e dias especiais, foi respectivamente de 11,7 e 13,0 %.

III — Diagrama de carga dos dias característicos

	4.ª feira:	
	16-4-958	15-4-959
Produção hidráulica (P_h) — MWh	6.918	8.064
Produção térmica (P_t) — MWh . .	0	0
Produção total (P_T) — MWh . . .	6.918	8.064
Produção para consumos não permanentes — MWh	—	1.973
Utilização da ponta (U) — horas	17,1	17,2
Factor de carga (α)	0,71	0,72
Relação $\frac{\text{Pot. mín.}}{\text{Pot. máx.}}$ (r)	0,43	0,42

2.3.-DIAGRAMAS DE CARGA DOS DIAS CARACTERÍSTICOS



III — Energia armazenada nas principais albufeiras

Albufeiras:	No fim do mês	
	GWh	% (1)
Paradela	222,5	100,0
Venda Nova	121,8	95,1
Salamonde	26,0	94,2
Caniçada	31,1	94,0
Guilhofrei	8,3	100,0
Lagoa Comprida	31,1 (2)	99,3
Santa Luzia	61,1	99,2
Cabril	337,3	99,4
Castelo do Bode	162,4	99,6
Pracana	12,5	96,9
Póvoa	13,0 (3)	100,0
Total . . .	1.027,1	93,5

Notas:

(1) Coeficiente de enchimento em energia das albufeiras.

(2) Inclui 1,9 Gwh armazenados em Vale do Rossim no fim do mês.

(3) Inclui 2,6 Gwh armazenados no açude do Poio no fim do mês.

CENTROZAP

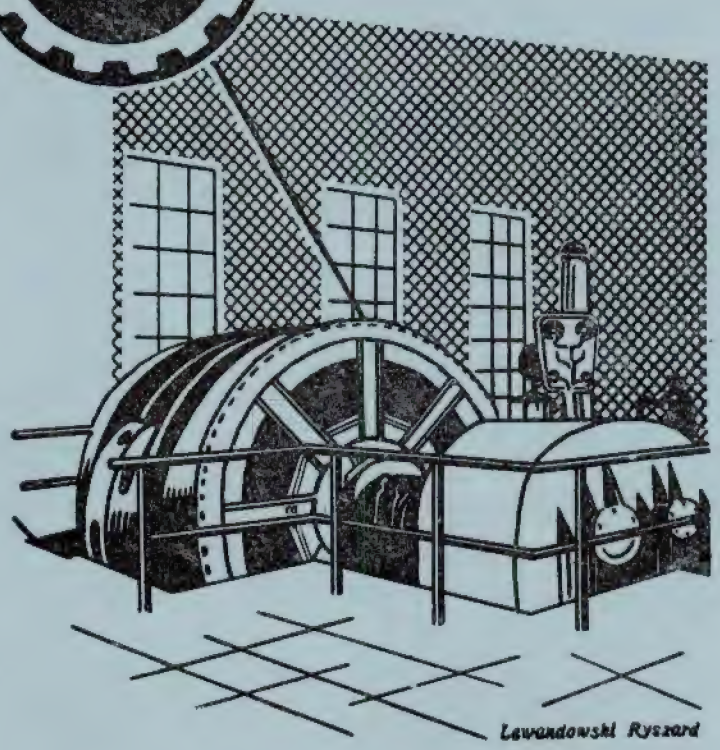
Katowice, Plebiscytowa, 36 — POLÓNIA

EXPORTA:

Máquinas de extracção de todos os géneros

Recomendamos particularmente as nossas máquinas de extracção mineira com motores asíncronos, com um ou dois tambores ou polés Koepe.

Distinguem-se pela construção simples e reduzido espaço que ocupam. Estão equipados com travões automáticos de funcionamento rápido, engrenagens protegidas e um sistema de paragem e de sinalização que permite acompanhar o funcionamento dos principais dispositivos de segurança.



Telegramas : Centrozap Katowice

Telefones : Katowice, 369-81, 329-61

Utilize o transporte aéreo para expedir

ou receber

AMOSTRAS

E MERCADORIAS

TAP

TRANSPORTES AÉREOS PORTUGUESES

RUA BRAAMCAMP. 2 TELEF. 59101 (10 LINHAS LISBOA

AGLOMERADOS NEGROS DE CORTIÇA PARA ISOLAMENTOS

O ISOLANTE IDEAL DO FRIO E CALOR QUE REUNE AS SEGUINTES CARACTERISTICAS:

ESTRUTURA estável

ELEVADA resistencia mecânica.

BAIXO coeficiente de condutibilidade térmica.

COMPORTAMENTO elástico a elevadas pressões.

FACILIDADE de aplicação.

AGENTES EM TODO O PAÍS.

ISOLA

SOC. COMERCIAL DE ISOLAMENTOS DE CORTIÇA, LDA

AV. ANTÓNIO AUGUSTO DE AGUIAR, 17 — LISBOA

TEL: 47824 — TELEG: ISOLA - LISBOA

C. D. U. 539.17 : 543

Radioactivity applied to analytical chemistry (*)

BY
DR. HANS GÖTTE
Max Planck-Institut für Chemie, Mainz

1. Introduction.

In 1913 a new method was introduced into analytical chemistry when Hevesy-Paneth, using RaD — a naturally occurring radioactive leadisotope —, determined the solubility of leadsulfide and leadchromate in H_2O as 0.37 mg/1 resp. 0.012 mg/1. At that time nobody was able to estimate the importance of the new analytical tool since only a few radioactive isotopes of elements with high atomic numbers were suitable for this method. The discovery of two phenomena, however, instantaneously led to an increasing application. In 1934 artificial radioactivity was discovered by F. Joliot and I. Curie, and only a few months later Fermi observed that it was possible to produce radioactive isotopes of almost all elements by adding neutrons to various nuclei. In spite of this, radioactive nuclides did not become a common aid in analytical laboratories, as their way of production (with Ra-Be-sources, cyclotrons, and linear accelerators) was very expensive and only small quantities were available. Only when the discovery of uranium fission in 1939 by Hahn and Strassmann led to the building of an increasing number of nuclear reactors, radioactive isotopes could be produced on a large scale. Now, from the reactors view, some of these products were even considered as a waste for which an utilization had to be found. Thus radioactive isotopes of many elements have become available like normal analytical reagents, and it is to be expected that radioactive substances will be employed more often when analytical problems are to be solved.

The chemical method developed by Hevesy and Paneth is based on the fact that radioactive and stable isotopes do not show any difference in chemical behaviour if their chemical form is identical. Nuclides of such a mixture, i. e. of a normal inactive element labelled with a radioactive tracer element, show the same chemical behaviour as a pure inactive element.

With the help of suitable instruments (GM--counters, scintillation-counters, ionisation-chambers) and with photographic plates the emitted radiation can be detected and the labelled substance can be measured quantitatively. Now radiation detection may replace the usual quantitative methods like weighing in gravimetry, determining volumes in gas analysis, measuring light intensities in colorimetry. The described method is called radiometric analysis.

There are three procedures for making quantitative chemical analyses with the help of radioactive tracers: Activation analysis, radioactive--isotope-dilution-method, and another method for which a generally accepted name by which it can be differentiated from the two others does not exist. Since this last technique was used by Hevesy and Paneth in their first quantitative analysis (as mentioned above), one could refer to it as the Hevesy-Paneth-Analysis.

2. Analytical Method by Hevesy and Paneth.

The Hevesy-Paneth-Analysis [1] is based on the fact that with radioactive labelled substances having equal specific activities, i. e. equal ratios of active and inactive atoms, the number of decaying atoms por weight is proportional to its quantity. If comparable counting conditions are provided, there is proportionality between the amount of the labelled substance and the activity as observed by the radiation detector.

(*) Conferência realizada no Laboratório de Química dos Centros de Estudos da Energia Nuclear. Instituto Superior Técnico, 7 e 9 de Maio de 1957.

So the observed activity becomes a measure for the labelled substance. For this technique it is not necessary to know the absolute specific activity, i. e. the millicuries per unit weight of an active substance. It is sufficient to determine the relative specific activity, which means the number of counts (counting rate) per weight under comparable conditions with a specified counter. If the radiation detector consists of an ionisation chamber, the expression «counting rate» has to be replaced by «ionisation current».

Through the Hevesy-Paneth-Analysis the determination of quantities has been reduced to a comparing of two counting rates. As a first step the counting rate per weight of the labelled substance has to be determined. During the next step the counting rate of the unknown sample is determined, and by comparing the two counting rates the quantity of the unknown sample is obtained.

sensitivity. In numerous cases it is also impossible to achieve such a high specific activity. Very often lack of visible mass does not allow synthesis with radioactive nuclides, not even on a micro-chemical scale. Within the limits of the Hevesy-Paneth-Analysis specific activities can be varied by adding inactive material to a radioactive labelled compound, but with increasing dilution of the active substance the sensitivity for the radioanalytical method decreases. So the sensitivity can easily be adapted to every analytical problem.

There is an essential advantage in all radiometric methods. Radiation detection is independent of accompanying material. The determination of the solubility of leadsulfide requires only the evaporation of water saturated with labelled PbS after the settling of the precipitate. Impurities dissolved in this water do not interfere with the determination of the activity. Even inactive mate-

Radionuclide		Weight of 1 mC mg	m Mol	Specific Activity mC/mg	Detectable with G.M. tubes 20 cpm approximately		
					mC	mg	Atomes
^{24}Na	$\xrightarrow{14{,}8\,h}$	$1{,}1 \cdot 10^{-7}$	$\sim 4{,}5 \cdot 10^{-9}$	$9 \cdot 10^{6}$	$\sim 10^{-7}$	$1{,}1 \cdot 10^{-14}$	$2{,}7 \cdot 10^{5}$
^{137}Cs	$\xrightarrow{33\,y}$	$1{,}3 \cdot 10^{-3}$	$\sim 1 \cdot 10^{-5}$	$7{,}7 \cdot 10^{2}$	10^{-7}	10^{-10}	$6 \cdot 10^{8}$
^{32}P	$\xrightarrow{14\,d}$	$3{,}44 \cdot 10^{-6}$	$\sim 1{,}1 \cdot 10^{-7}$	$2{,}9 \cdot 10^{5}$	10^{-7}	$3 \cdot 10^{-13}$	$6{,}6 \cdot 10^{6}$
^{35}S	$\xrightarrow{87\,d}$	$2{,}5 \cdot 10^{5}$	$\sim 6{,}7 \cdot 10^{-7}$	$4{,}4 \cdot 10^{4}$	10^{-6}	$2 \cdot 10^{-11}$	$4 \cdot 10^{8}$
^{14}C	$\xrightarrow{5668\,y}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$\sim 1{,}7 \cdot 10^{-2}$	5	10^{-6}	$2 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{13}$
^{131}I	$\xrightarrow{8\,d}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$\sim 6 \cdot 10^{-8}$	$1{,}3 \cdot 10^{5}$	10^{-7}	$8 \cdot 10^{-13}$	$3{,}6 \cdot 10^{6}$

Fig. 1

The limits for the Hevesy-Paneth-Analysis are set by the sensitivity of the counting instruments and the specific activity of the labelled substances which have to be determined. A high specific activity at the beginning permits the determination of very small quantities afterwards. The highest obtainable sensitivity for this method is given by the specific activity which is achieved with carrier-free substances. Fig. 1 shows what can be detected from some often used radioactive nuclides.

Chemistry usually does not demand this high

rial of the same chemical kind as the labelled substance does not interfere with its radiometric determination. So two other advantages of the tracer method become apparent which are of even greater importance than its high sensitivity. 1) This procedure allows the quantitative determination of compounds which have no specific or selective chemical reaction or whose selective reactions cannot be performed under the given circunstances. 2) It is possible to determine labelled substances in the presence of inactive

material of the same chemical kind. This feature is unique for the Hevesy-Paneth-Analysis, as no other chemical method shows it.

Another advantage presented by radio-chemical methods lies in the fact that quantitative analysis of labelled organic material can be done without necessarily performing the analytical procedure with the organic material itself or one of its derivatives because the emission of nuclear radiation is independent of the chemical state of the radioactive atom. A transition can be achieved from the difficult and partially unknown field of organic molecules to the chemistry of simple inorganic compounds. With the large variety of compound groups in organic chemistry and the numerous single compounds, chemistry changing considerably from one compound to the other, analytical procedures as the one described are an important asset.

To bring the tagged atoms of an organic compound into a suitable chemical form, the labelled compound has to undergo a wet or dry oxidation together with accompanying bulk material. The tagged chemical element and accordingly the radioactive nuclide have then acquired the chemical form prescribed by the oxidation process, and in most cases are easily separated from the other decomposition products. It is no problem to collect and measure the tagged element now. By these means organic compounds which contain radio-sulphur, radio-phosphorus, the radio-halogens, and most of the organo--metallic compounds labelled with radioactive metals can be determined quantitatively by radiometric methods. Determination merely consists of the combustion of the sample and the measurement of the separated sulphate, phosphate, arseniate, or metallic ion. Even more important, the activity of pure organic molecules containing only CHO labelled with radio-carbon or radio-hydrogen can be estimated after oxidation measuring the formed CO_2 or H_2O.

There are still more advantages. Very often, when high sensitivity is demanded, the quantity of a substance which has to be determined is so small that after oxidation the recovered radioactive substance is too small for handling, even when applying micro-chemical methods. In such a case a known quantity of inactive isotopes of identical chemical form is added as carrier and macro--chemical methods can now be applied.

If the mass of the carrier is large enough so that the mass of the sample can be ignored, it is unnecessary to determine the whole lot of the carrier substance. A definite part of it will then be determined, and the entire activity of the sample is easily calculated. The addition of carrier decreases automatically the specific activity with the respect to the initial substance. This decrease, however, is of no importance since the entire activity is the measure for the substance which is looked for. Its specific activity being altered, the labelled substance can still be determined by measuring a well defined part of the entire carrier mass and calculating for the complete mass. Here, one property of the radio tracer method is revealed which is owned by no other analytical procedure. It offers a possibility of performing quantitative determinations of a substance without quantitative isolations.

If the mass of the sample is too large to be ignored or if an unknown quantity of carrier is added, carrier and tagged substance have to be isolated quantitatively to get the entire activity. Unknown quantities of carrier can also exist if non--labelled substances accompanying the labelled substance contain the element which was used for labelling. In these cases the whole lot of active material must be quantitatively recovered, to correct the inactive impurities which reduce the expected specific activity. Under these circunstances the sensitivity of such an analysis is considerably reduced by external conditions like the existence of isotopic impurities. Since then a larger quantity of substance may be formed than can be measured under GM-Tube. This goes especially for ^{14}C-labelled organic compounds. Here, the sample has to be oxidised and the resulting radioctive CO_2 is measured as a gas or transformed into $BaCO_3$ together with a large mass of inactive CO_2 originating from the combustion of organic matter.

The addition of a carrier may also prove necessary if the specific activity of the obtained substance is too high.

From the fact that only the radioactivity of tracer element, independent of its chemical form, is constituting a measure for the mass of the substance to be determined, it is following that even in those cases where reactions have taken place an exact determination of the initial substance can be performed. It is completety impos-

sible to solve such a problem with classical analytical procedures.

Problems of this kind do exist, e. g. in pharmacology or physiology when certain compounds taken up by a living organism are rearranged in their chemical constitution thus losing their selective reactions. In the analysis procedure as described above the material including the tracer element is combusted and measured under the GM-Counter, though the labelled compound may have changed its chemical form completely by the beginning of the analysis.

The advantages offered by the Hevesy-Paneth--Analysis are well explained in some examples.

In agriculture it is an important problem to estimate the amount of fertilizer taken up by a growing plant. As plants cannot differentiate between the elements offered with the fertilizer and those already contained in the soil, ordinary chemical analysis cannot answer such a question. Besides this it cannot differentiate between the amount of elements already in the plant before the fertilizer has been offered and those picked up from it and the soil. With other words, there are no possibibilities to give information how the amount picked up by the roots is distributed inside the plant. With the help of labelled fertilizer such a problem is easily solved. By using radio-phosphorus it can be estimated what part of the element phosphorus was picked up from the fertilizer. By using autoradiographic methods it can, furthermore, be determined where this phosphorus is distributed within the plant (Fig. 2).

Another analytical problem is the following: How much of an insecticide is taken up by a fly running over a prepared surface?

One of the most widely used insecticides is called parathion (p-nitrophenyldiethylthiophosphate). Ordinary ways to estimate it are difficult. One of them is to determine small quantities of this compound by reduction of the nitro group, saponification of the resulting amino-compound and diazotisation of the aminophenol. The diazotisation leads to an azodye that can be determined in colorimetry.

With such a method the first step to be taken is to extract from the dead animal's body the substance which must be determined. In this process other substances which give similar colour effects may be extracted as well, thus diminishing the accuracy of the determination. The application of ^{32}P-labelled parathion, however, alows exact determination independent of accompanying bulk material by measuring the β-radiation of ^{32}P. With a specific activity of 10 mC/g, 10^{-2} μg of the labelled compound are detectable with a normal GM-Counter, and it is sufficient, on principle, to measure the dead fly's body directly. Quantitative determinations, however, require standard counting conditions. This is the reason why solid or liquid preparations have to be made from the bodies of the experimental animals. Insects, e. g. can be oxidised with nitric acid and the resulting solution can be measured in a liquid counter tube or under an end-window-counter-tube after evaporating the solution to dryness. In both cases a separation process proves to be superfluous.

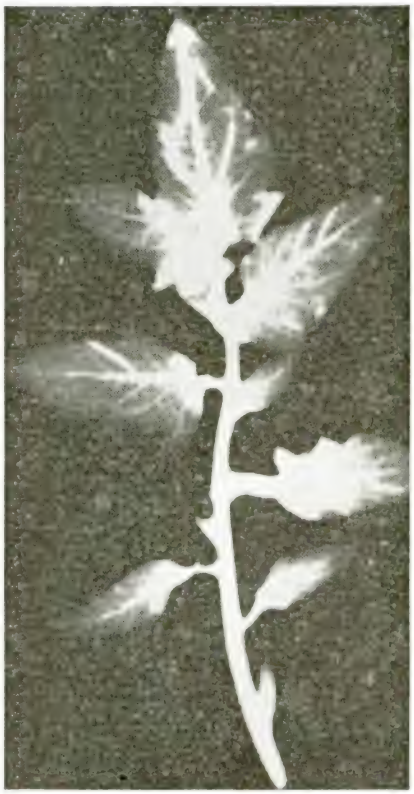


Fig. 2

Another analytical problem could arise in which two different insecticides should be determined separately, e. g. parathion besides dichlordiphenyltrichlormethylmethane (DDT). In such a case it may be advisable to label the last mentioned compound with ^{36}Cl.

Experimental animals running over a surface treated with both the labelled insecticides contain two different radioactive nuclides that cannot easily be distinguished under a GM-Counter. In this case a chemical separation is necessary. One should follow a procedure in which the insecticides would have to be extracted from the animal's bodies after the addition of carriers (200 — 300 mg of each substance), and afterwards separated from each other. This would require the elaboration of a separation process in which the two compounds must be obtained in a pure chemical form, regardless of their yield. It is sufficient to recover definite parts of the carrier and after determine their activity calculated for the entire quantity.

It is easily recognised how the transition from the microscale to the macroscale is achieved by the introduction of carriers.

This method naturally determines only those insecticides which have not been converted into different compounds by the metabolism of the accepting organism. If the unconverted part is prevailling, this is definitely the method of choice. Whenever it is intended to determine the taken up insecticide quantitatively, the flys have to be oxidised, converting the ^{32}P into $^{32}PO_4'''$ and ^{36}Cl into $^{36}Cl'$. Now the substances being converted, carriers are added in the new chemical form, i. e. as NaCl and Na_2HPO_4, to precipitate and measure Cl' as AgCl and HPO_4''' as $MgNH_4PO_4$, following normal inorganic analytical procedure. With this procedure not only microscale operations are converted into macroscale operations, but a real transition from organic to inorganic chemistry is achieved.

As a conclusion some information is given as to the calculating of the described analysis.

The starting point of a Hevesy-Paneth-Analysis is always a radioactive labelled compound. If organic components must be determined quantitatively, a well-defined part of the labelled substance is oxidised and made into a standard substance out of which several standard preparations are formed. The activities of the standard preparations are compared with those of the preparations received from the substance which is determined. The result of the analysis is easily computed from the ratio of the counting rates of standard preparation and sample. It must be kept in mind that all the preparations have to be counted under equal counting conditions, i. e. standard preparations and samples have to be made from the same material. To achieve this uniformity, special care has to be taken when preparing a sample. One of the following chapters will deal with that subject.

A definite part of the labelled compound is oxidised together with the material in which it is to be estimated so that the active element is quantitatively converted into the chemical form in which it is measured afterwards. The oxidation of ^{35}S-labelled compounds e. g. leads to sulfate-ions later determined as $BaSO_4$. The oxidising mixture containing the decomposed substance is filled into a volumetric flask and diluted to a definite volume after adding carrier if necessary. Out of this standard solution the active element is precipitated and measured. The same conditions must be carefully kept when working with an unknown sample.

In the same way a solution of defined volume is prepared by oxidising the sample, and the active nuclide is precipitated and measured like the standard substance. It should be observed that the precipitates must not contain impurities originating from bulk material (e. g. $BaSO_4$ has to be free from $Ba_3(PO_4)_2$).

The unknown quantity to be estimated is calculated from the following values: The radioactivity r_1 per unit volume of standard solution is equivalent to mass «a» of the initial labelled substance. r_1 is evenly distributed among the mass of the tagged element originating from the labelled compound and the mass of carrier which might have been added. The total mass of both is called b. The same applies to the unknown sample in which the activity r_2 per unit volume corresponds to a quantity x of the sample. r_2 is evenly distributed among the masses originating from the oxidised tagged element of the sample and accompanying material including carriers. The sum of these masses is called c.

Using these terms we get two equations:

$$\frac{x}{a} = \frac{r_2}{r_1} \qquad (1)$$

$$\frac{\frac{r_2}{c}}{\frac{r_1}{b}} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{Z_2}{Z_1} \qquad (2)$$

In the second of these two equations S_1 and S_2 represent the specific activities which under comparable counting conditions are proportional to the counting rates Z_1 and Z_2.

Now we can calculate

$$x = \frac{Z_2 \cdot a \cdot c}{Z_1 \cdot b} \qquad (3)$$

The analytical procedure by Hevesy and Paneth is holding, as already mentioned, an important place in all those cases where organic substances have to be traced quantitatively like in pharmacology. Since radioactive isotopes of many important elements in organic chemistry, like ^{14}C, ^{3}T, ^{32}P, sulphur, iodine, arsenic, antimony, etc. are available in high specific activities, the demand for high sensitivity can usually be satisfied. Now a method has been brought into existence that is adaptable like almost no other method, and it covers te total field ranging from quantitative ultra-micro- to macro-analysis. Its unique specifity excludes all disturbances coming from similar substances. The limits for the Hevesy-Paneth-Analysis are set by the fact that but labelled compounds can be determined. The method is applicable only to those cases in which a substance can be labelled with a radioactive atom. It is, therefore, inpossible to perform a quantitative analysis of a given unknown mixture with the help of the Hevesy-Paneth-Analysis. This is the reason why the described method is more suitable for exceptional analytical problems rather than normal routine analysis.

3. The Radio-Reagent-Method.

The discussed limits of the Hevesy-Paneth--Analysis can be considerably extended if the unknown substance is not labelled itself but is brought to a quantitative reaction with a radioactive substance. The compound formed is measured afterwards, the activity of the reaction product being a measure for the mass of the unknown substance. This kind of quantitative radiometric analyses is referred to as the Radio-Reagent-Method. Perfect quantitative determinations can only be performed if the used reaction goes to completion and the reaction product can be quantitatively separated from the excess of the radio-reagent.

An example for this method is the fluorine determination [2], in which ^{32}P — labelled H_3PO_4 is employed. It is based on the fact that zirconium phosphate reacts in acid solution with fluorine-ions in the following way:

$$Zr(HPO_4)_2 + 4\ HF \rightarrow ZrF_4 + 2\ H_3PO_4 \qquad (4)$$

On a sheet of filter paper a small quantity of zirconium phosphate is precipitated with an excess of ^{32}P — labelled phosphoric acid and the excessive acid is removed by paper chromatographic procedure.

Now fluorine is placed on the zirconium phosphate spot, liberating an equivalent quantity of phosphoric acid. The acid is separated from the remaining zirconium phosphate by paper chromatography again. Its activity can be determined and the counting rate is a measure for the mass of fluorine. Fig. 3 shows autoradiographs of such chromatograms. The spots in the lower line are caused by the remaining zirconium phosphate while the upper spots result from the excess of labelled phosphoric acid which has been removed after precipitation of the zirconium phosphate. It can be easily recognized that the spots are of the same size in all cases shown

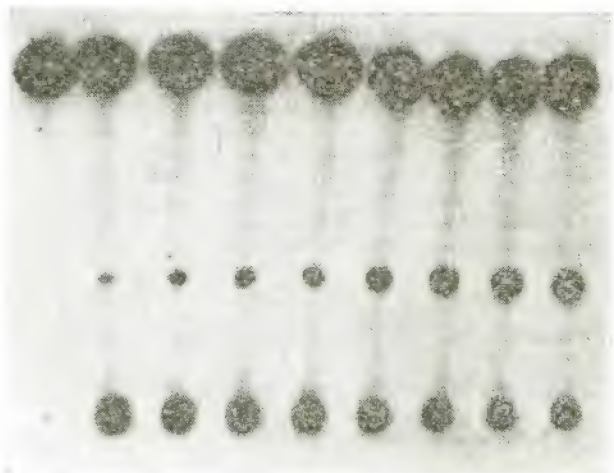


Fig. 3

here. The spots in the middle region are resulting from the radioactive phosphoric acid liberated through the action of fluorine ions on zirconium phosphate. Their size is increasing with an increasing quantity of fluorine. Fig. 4 shows the distribution of the activity along one

of those paper chromatograms. It is obtained when the chromatogram is drawn stepwise under a β-end-window-GM-tube, the whole sensitive area of the window being reduced to a small slit of 1 mm width.

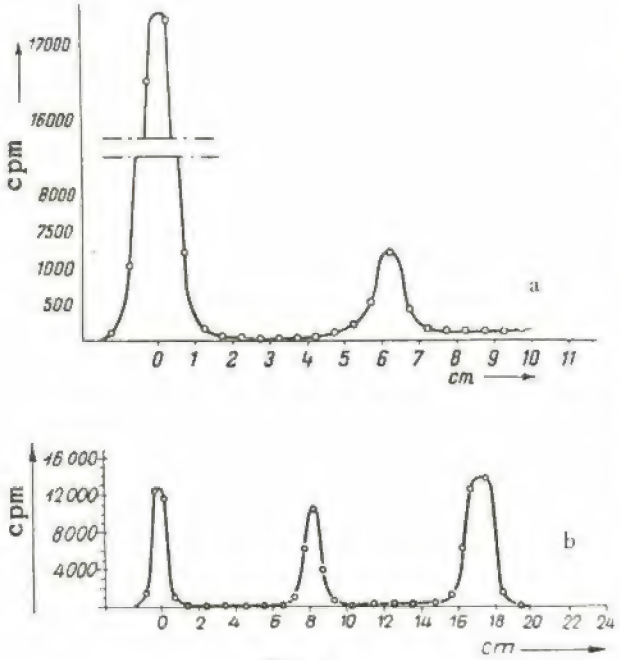


Fig. 4

Increasing quantities of fluorine are reducing the activity obtained from the first spot, increasing at the same time the activity of the liberated phosphoric acid of the second spot. If the total activity of these last mentioned spots is measured under reproducible conditions, a relation between the mass of the applied fluorine and the measured counting rate is obtained as shown in Fig. 5.

Thus, it is possible to determine fluorine by a radiometric method without using a radioactive fluorine isotope.

This kind of radiometric determinations has proved its usefullness in biochemistry and organic chemistry. Acording to the American authors S. Udenfried and S. F. Vellick [3) 4)] a mixture of animo acids can be determined quantitatively on a microscale with the help of ^{131}I — labelled p-iodophenylsulfonylchloride. This compound, with the customary abbreviation «pipsylchloride», reacts quantitatively with amino groups. To obtain perfect results, it is necessary to separate the tagged amino acids from each other as well as separate the tagged compounds from the excessive tagging agent, namely ^{131}I — pipsylchloride. Chromatographic experiments have shown that this demand cannot always be perfectly fulfilled. A partial superposition of the pipsylated amino acids was observed and the separation from the radio-reagent remained incomplete. Under these circumstances the counting rate of each spot cannot be considered a measure for the quantity of the pipsylchloride attached to an amino acid and, accordingly, for the mass of the amino acid itself.

Here a trick is helping to overcome the difficulty. The unknown mixture of amino acids is treated in the usual manner with an excess of ^{131}I — pipsylchloride of which the molespecific activity I is known. Now we have a mixture of pipsylised amino acids whose molespecific activities are known, too. Besides this, a defined mixture of the amino acids, which are expected in the unknown mixture, is prepared and pipsylated with ^{32}S-p-iodophenylsulfonylchloride whose molespecific activities are also known. So we get a mixture of pipsylised amino acids labelled with ^{32}S of which the composition is known as well as the molespecific activity.

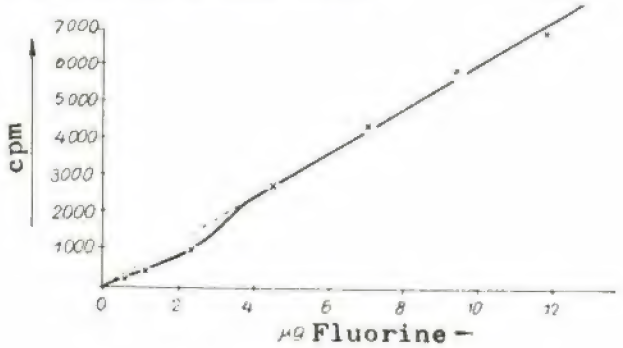


Fig. 5

As a further step both the mixtures are combined and a sample of this is separated as complete as possible by paper chromatography. The formed chromatogram is measured and an activity distribution corresponding to the sum of the sulphur and iodine activities is obtained. If counting is repeated, using a 0.1 mm sheet of aluminium as an absorber, the soft β-radiation emitted by ^{32}S is completely absorbed and the nuclide ^{131}I is measured alone. Subtraction gives the distribution of each activity.

The ratio of the activities ^{35}S and ^{131}I varies at all those spots where the reaction products are

not pure, e. g. where superposition or incomplete separation occurs. For pure reaction products the counting rate ratio

$$\frac{{}^{*}I_1}{{}^{*}S_1} = c \qquad (5)$$

is a constant for the ^{35}S — and ^{131}I — activities.

The ^{35}S — ^{131}I — activities, counted at the spots with constant activity ratio, are a measure for the number of moles of ^{35}S — labelled and ^{131}I — — labelled amino acid compounds.

At these spots there are $a = \frac{{}^{*}S_1}{S}$ moles of ^{35}S — — labelled and $b = \frac{{}^{*}I_1}{I}$ moles of ^{131}I — labelled amino acid. On the other hand, the number of moles of each ^{35}S — labelled amino acid placed on the paper is known. This number being d, the fraction $\frac{a}{d}$ of the initially applied quantity is measured in a zone with constant ratio of activity. Equivalent to d, the same zone contains x moles of the applied ^{131}I — labelled amino acid.

From the equation

$$\frac{b}{x} = \frac{a}{d} \quad \text{x can be determined as:} \qquad (6)$$

$$x = \frac{b}{a} \cdot d \qquad (7)$$

Substituting the right-hand side of the equation by the measured activities, we obtain

$$x = \frac{{}^{*}I_1}{I} \cdot \frac{S}{{}^{*}S_1} \cdot d = \frac{S}{I} \cdot c \cdot d \qquad (8)$$

It can be easily recognized from this equation that, knowing the molespecific activities of the two labelled radio reagents, it is unnecessary to determine the total activity of the spots containing pure compounds. The determination of the activity ratio, measured through a small slit, is sufficient to calculate for the unknown quantity x as shown in the equation above.

The Radio-Reagent-Method is also suitable for performing a routine-analysis. It can be safely assumed that this procedure will get importance in analytical chemistry in the near future.

4. Analysis with the help of radiometric corrections.

In combination with normal analytical practice the Hevesy-Paneth-method is capable of bringing chemical reactions into use that are otherwise unsatisfactory for quantitative determinations. This method may be called "Analysis with the help of radiometric corrections". It allows quantitative determination of a substance without bringing the total mass of the substance through various gravimetric, volumetric, or photometric operation. It is sufficient to obtain a portion of the total substance in a pure form and determine it quantitatively. Thus, quantitative analysis of all those substances where coprecipitation increases the difficulties in a separation process is considerably facilitated. Furthermore, this method allows the analysis of unknown mixtures if the unknown substance is available as a tagged substance of high specific activity.

The procedure is working in the following way: The compound to be determined, constituting a component in a mixture, is tagged with a known amount of radioactive compound. This is done by adding the radioactive nuclide to the inactive compound in solution. The radioactive substance must be in the same chemical state as the substance to be labelled, and the amount of active labelling substance should be small enough to be ignored, i. e. less than 1 % of the inactive compound. After thoroughly mixing the solution containing active and inactive compound, the substance to be determined is precipitated by a suitable reagent. This reaction, however, should not lead to a quantitative isolation, but conditions should be selected where only partial precipitations occur and but small amounts of accompanying material are coprecipitated. The obtained precipitate is dissolved and reprecipitated under similar conditions. This process is repeated until absorption spectroscopy or determination of the melting point are proving that the compound is chemically pure. The amount of isolated substance is now determined by any quantitative procedure like colorimetry, or gravimetry[5], and the activity is measured. Since the total activity of the radioactive tracer is known, the counting rate of the isolated sample is showing how much of the initial substance has been separated, and the total quantity x of the initial substance can be calculated.

For this method it is not necessary to stick to precipitation reactions, but other chemical procedures like electro-deposition or ion-exchange can be applied as well.

If the initial counting rate of the tagging

substance, which is the measure for x, has been Z_1 and the activity measured in the isolated sample b is represented by Z_2, we get:

$$x = b \cdot \frac{Z_1}{Z_2} \qquad (9)$$

The procedure is more easily explained with the help of an example [5]. The quantitative isolation of pure cerium out of a mixture of rare earths is usually difficult. There is no problem, however, to obtain a fraction of that cerium in a pure chemical form. If exact size of the fraction can be determined with the help of radioactive isotopes, the total quantity of cerium can be easily computed.

In the case of cerium determinations, the procedure is started by adding radioactive ^{144}Ce to the mixture containing the cerium. The mass of ^{144}Ce is small enough to be ignored. It amounts to $2 \cdot 10^{-9}$ g. Within the limits of gravimetric determinations the mass of cerium is not increased that way. Since the added active atoms are isotopes of the inactive cerium, they cannot be distinguished through their chemical reactions. The total activity of the mixed sample therefore is always a measure for the whole mass of cerium. A portion of the whole quantity of cerium is now separated from the unknown mixture of rare earths by precipitating cerium as cerium iodate after oxidising the rare earths with sodium bromate and nitric acid. The precipitate containing impurities like praseodymium is dissolved in nitric acid and precipitation with sodium iodate in the presence of sodium bromate is repeated. The precipitation reactions are repeated until a spectroscopically pure cerium is obtained. The fraction which constitutes the cerium preparation is determined by measuring the activity of the preparation. The next step merely consists of normal quantitative determination — the authors of this work, Freeman and Hume, do it photometrically — of the purified cerium. The obtained result has to be multiplied by the factor received from the radiometric analysis to get the total quantity of cerium in the unknown mixture.

It cannot be overlooked that this method of tagging a substance is suitable to control the completion of quantitative analysis. An appropriate radioactive isotope of the element to be determined is added in weightless quantity to an unknown mixture, and at the end of the analysis a possible loss is detected by measuring the activity of the isolated preparation. A loss of substance through the separation process is indicated by a decrease of the initially measured activity.

5. Isotope Dilution Analysis.

A procedure, the base of which is different from the Hevesy-Paneth-Analysis, is being followed in the Isotope Dilution Analysis. Here the specific activity of a radioactive labelled compound is reduced by adding an inactive compound of the same sort. This method, like the method of radiometric corrections, allows quantitative determinations of components out of mixtures without employing quantitative separation processes. It is sufficient to isolate a known fraction in a pure chemical form and determine the counting rate. Thus another method is shown, permitting quantitative determinations of substances that cannot be obtained quantitatively and pure at the same time. Furthermore, this method is suitable for tracing unreacted compounds in a reaction if the reaction products are stable, i. e. no reverse reaction occurs. Unlike the radiometric correction method the isotope dilution analysis is a pure radiometric analysis. This kind of quantitative analysis has its foundations in the studies of Hevesy, too [6] [7].

There are two variations of this method, the first one permitting determinations of an inactive compound. Here, to the mixture containing the compound to be determined, a known amount of labelled compound of the same sort with known specific activity is added. The two compounds have to be mixed thoroughly to get a homogeneous mixture. After that, a portion of the unknown compound now labelled with the active compound by the mixing is isolated and its specific activity is determined. If the activity of the added active amount «a» is z_1 under a GM-counter, the specific counting rate of the compound is $S_1 = \frac{z_1}{a}$. After addition of the unknown compound the latter is reduced to

$$S_2 = \frac{z_1}{a + x} = \frac{z_2}{b}$$

The quantity b being isolated in a pure chemical form and measured giving the activity z_2. x is calculated from:

$$x = a \left(\frac{S_1}{S_2} - 1 \right) \qquad (10)$$

An example:

It is extremely difficult to determine naphtalene in coal tar[8]. Destilling gives unsatisfactory results as naphthalene is found in many fractions afterwards. Since solutions of coal tar are opaque, even ultrared spectroscopy, a method often employed in organic analysis, is failing. When using the isotope dilution analysis, a known amount of radioactive labelled naphthalene is added to a coal tar sample, and after thorough mixing a portion of the total naphthalene is isolated in a pure chemical form by repeated recrystallisation. By comparing the specific activity of the obtained sample with the specific activity of the added compound, the quantity of naphthalene is easily determined from the equation 10.

On the other hand it is possible to determine an unknown amount of radioactive labelled compound with known specific activity by the addition of a known quantity of inactive compound. This practice is useful in all those cases in which the specific activity of the compound to be determined can be measured under a GM-counter using only a small sample p. In equation.

$$S_1 = \frac{Z_p}{p} = \frac{Z_x}{x}$$

Z_p represents the measured activity of a small preparation p. Z_x stands for the unknown activity of quantity x which must be determined in a mixture. After addition of the known amount «a» of the unlabelled compound, thorough mixing is necessary again, the specific activity of the mixture is given by equation

$$S_2 = \frac{Z_x}{(x + a)} = \frac{Z_b}{b}$$

if Z_b stands for the activity of the isolated chemically pure sample b. The quantity of the unknown compound is calculated from:

$$x - \frac{S_2 \cdot a}{(S_1 - S_2)} \qquad (11)$$

The application of this variation may be illustrated by an example. ^{14}C-labelled malonic acid [9] is synthesized in the following way:

$$\begin{aligned} {}^{*}CH_3 - COOH &\xrightarrow{Br} Br - {}^{*}CH_2 - COOH \rightarrow \\ &\xrightarrow{KCN} CN - {}^{*}CH_2 - COOH \rightarrow \qquad (12) \\ &\xrightarrow{H} HOOC - {}^{*}CH_2 - COOH \end{aligned}$$

The synthesis is started with a few millimoles of labelled acetic acid of known molespecific activity. Following classical procedure, the bromoacetic acid must be isolated after the first stage, and its yeld must be determined to know how much of the next reactant is needed. In a micro synthesis like the labelling of malonic acid this would mean severe losses of substance. So it has to be found out, how much bromoacetic acid is present in the reacting mixture without isolating the whole mass of the compound. It is even more interesting to get to know how fast the reaction is proceeding and at what time the maximum yield of monobromoacetic acid is achieved. This, of course, means several analysis.

With the help of the isotope dilution method such a problem is easily solved. A sample containing 1 — 2 % of the 1 g reacting mixture is withdrawn and a known amount of bromoacetic acid e. g. 100 mg, is added. With the help of benzylamine, the substituted acetic acid is transformed into a well-crystallizing salt of benzylamine and its activity is measured. The initial substance and the reaction product have the same molespecific activity, as this factor is not influenced by the reaction. With the help of the equation the amount of bromoacetic acid existing in the reaction mixture is calculated from the known molespecific activity of the initial substance and the activity of the benzylamino-bromoacetic-acid-compound isolated from the withdrawn sample.

In the last mentioned procedure tha specific activity of the compound to be determined was known. It can be imagined that problems could arise in which this is not the case. Here, another method offers the solution: Two different portions, g and h, of the inactive compound of which the radioactive labelled compound must be determined are added to two equal parts of

the reacting mixture. From both samples a portion is isolated, weighed, and measured. The obtained specific activity for the sample containing portion g being S_1 and the sample containing portion h being S_2, we get:

$$x = \frac{S_2 . h - S_1 . g}{S_1 - S_2} \qquad (13)$$

The specific activity of the unknown substance is:

$$S_x = \frac{S_1 . S_2 (h - g)}{S_2 . h - S_1 . g}$$

The first-mentioned procedure permits quantitative analysis of inactive compounds with the help of radioactive labelled compounds. It is now possible, if the compound to be determined can be labelled with a radioactive atom, to perform routine-analysis of unknown mixtures which are extremely difficult to be analysed by normal practice. A fine example for such an application is the already mentioned determination of naphthalene in coal tar.

The second variation of isotope dilution analysis is a valuable asset when synthesizing labelled compounds. It allows the determination of yields at every stage of the reaction by withdrawing only small portions of the reacting mixture if the molespecific activity of the initial substance is known and kept constant through the various stages of the synthesis. Thus in numerous cases a new stage of the synthesis can be started without isolating the reaction products of the last stage [10]. Substance losses necessarily connected with isolations are avoided. As radioactive compounds are usually expensive, the advantages offered by this method are obvious.

Both methods are playing a leading part in the study of metabolism.

The isotope dilution analysis will mainly serve as an implement for quantitative organic analysis. If the isolation of the mixture of inactive and labelled compound can be accomplished, this method is unique because of its high specifity.

(to be continued)

LITERATURE CITED

1. G. v. Hevesy, F. A. Paneth, Z. anorg. Chem. *82*, 323 (1913)
2. J. M. Peixoto Cabral, H. Götte, Z. Naturforsch. *10 b*, 440 (1955)
3. S. Udenfried, S. F. Vellick, J. Biol. Chem. *190*, 733 (1951)
4. S. F. Vellick, S. Udenfried, J. Biol. Chem. *191*, 233 (1951)
5. A. J. Freedman, D. N. Hume, Anal. Chem. *22*, 932 (1950)
6. G. v. Hevesy, R. Hobbie, Z. f Anal. Chem. *88*, 1 (1932)
7. G. v. Hevesy, E. Hofer, Nature *134*, 879 (1934)
8. Atomics *3*, 12, 306 (1952)
9. G. A. Ropp, J. Am. Chem. Soc. *72*, 4459 (1950)

DO MUNDO TÉCNICO

REVISTA DAS REVISTAS

C. D. U. 621.1.014.3 : 621.316.13

Curto-circuitos assimétricos em redes trifásicas

Por R. KRATZER

RESUMO :

(Extraído de *Bulletin Sécheron*, 1958, N.º 27 F)

Após recordar os processos de cálculo de curto-circuitos assimétricos, pelo método das componentes simétricos, um exemplo simples ilustra a maneira de calcular tais defeitos.

O significado das impedâncias directas, inversas e homopolares é aprofundado, e, particularmente, o da influência da impedância homopolar dos transformadores logo que o neutro da rede é ligado rìgidamente à terra.

1) Componentes simétricas

Num sistema trifásico simétrico as correntes (J) e as tensões (U) estão desfazadas de 120°. Se, por exemplo, (fig. 1) dispuzermos a estrela representativa dum sistema trifásico no plano complexo de tal maneira que o vector J_R se encontre sobre o eixo real teremos

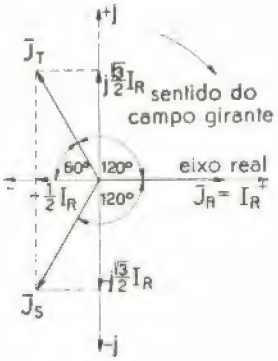


Fig. 1

$$J_R = J_R$$
$$J_S = a^2 J_R$$
$$J_T = a\ J_R$$

em que $a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$

$$a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

a, significa então uma rotação de 120° no sentido contrário ao do campo girante e a^2 uma rotação de 120° no sentido do campo girante.

Logo que o sistema é simétrico, podemos simplificar o estudo, limitando-nos a estudar apenas uma fase.

Um sistema assimétrico pode ser decomposto em três sistemas simétricos pelo artifício seguinte

Fig. 2

Façamos :

$$U_R = U_{Rd} + U_{Ri} + U_{Ro} \quad (1)$$
$$U_S = U_{Sd} + U_{Si} + U_{So} \quad (2)$$
$$U_T = U_{Td} + U_{Ti} + U_{To} \quad (3)$$

Estas três equações têm nove incógnitas e podemos ainda fixar duma maneira arbitrária 6 equações.

$$U_{So} = U_{Ro} = U_{To} \quad (4 \text{ e } 5)$$
$$U_{Sd} = U_{Rd} \cdot a^2 \quad (6)$$
$$U_{Td} = U_{Rd} \cdot a \quad (7)$$
$$U_{Si} = U_{Ri} \cdot a \quad (8)$$
$$U_{Ti} = U_{Ri} \cdot a^2 \quad (9)$$

As equações 1) a 3) escrevem-se então.

$$U_R = U_{Rd} + U_{Ri} + U_{Ro} \quad (1')$$
$$U_S = U_{Rd} \cdot a^2 + U_{Ri} \cdot a + U_{Ro} \quad (2')$$
$$U_T = U_{Rd} \cdot a + U_{Ri} \cdot a^2 + U_{Ro} \quad (3).$$

Resulta das equações (4) e (5) que os três vectores com o índice *0* estão em fase. Este sistema é por esta razão chamado sistema homopolar. Os 3 vectores com o índice *d*, que giram no mesmo sentido que o sistema dado, constituem o sistema directo, enquanto que os 3 vectores com o índice *i*, que giram no sentido contrário, formam o sistema inverso.

Resolvendo as 3 equações 1', 2', e 3', encontra-se as componentes dos 3 sistemas simétricos :

sistema homopolar : $U_o = \frac{1}{3}(U_R + U_S + U_T)$ (10)

sistema directo : $U_d = \frac{1}{3}(U_R + a\ U_S + a^2 U_T)$ (11)

sistema inverso : $U_i = \frac{1}{3}(U_R + a^2 U_S + a\ U_T)$ (12)

O vector U_R está, por convenção, sempre sobre o eixo O-X.

As figuras 3 e 4 dão a expressão geométrica destas três somas:

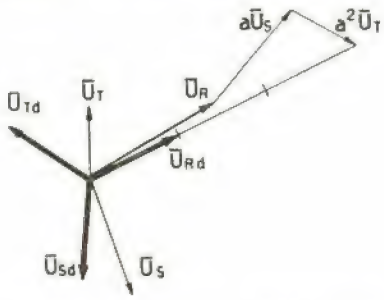


Fig. 3 — A componente directa U_{Rd} obtém-se somando o vector U_R, o vector U_S após rotação de *120°* no sentido inverso ao do campo girante e o vector U_T após rotação de 120° no sentido do campo girante.
O vector resultante é o triplo da componente directa U_{Rd}.

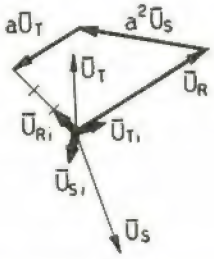


Fig. 4 — De maneira análoga, determina-se a componente inversa U_{Ri}.

2) Impedâncias directas, inversas e homopolares

Logo que as impedâncias das 3 fases dum elemento de rede são iguais entre si, cada sistema de corrente provoca quedas de tensão da mesma maneira.

Tem-se portanto:

$$\Delta U_o = Z_o \cdot J_o, \qquad (13)$$

$$\Delta U_d = Z_d \cdot J_d, \qquad (14)$$

$$\Delta U_i = Z_i \cdot J_i, \qquad (15)$$

equações que definem as impedâncias homopolares, directas e inversas, Z_o, Z_d e Z_i.

A impedância homopolar é portanto aquela que uma rede opõe a um sistema de correntes homopolares, quer dizer, de três correntes iguais e em fase que circulam nos três condutores.

Nas máquinas, o sistema homopolar cria um campo alternado. enquanto que os sistemas directo e inverso criam campos girantes. Da diferença entre estes campos resulta a distinção entre as diversas reactâncias.

A impedância homopolar dos transformadores depende do seu acoplamento e do tipo do seu circuito magnético. Se o sistema de corrente homopolar percorre um enrolamento (por ex. o enrolamento primário) sem poder ser compensado por ampéres-espiras iguais e opostos circulando no outro enrolamento (secundário), o valor do fluxo alternado monofásico que passa duma culatra a outra depende do tipo de circuito magnético.

Com um circuito magnético trifásico couraçado (como para um grupo de três transformadores monofásicos), o fluxo fecha-se pelas culatras de retorno; a impedância homopolar é igual à impedância em vazio; ela é portanto elevada.

O circuito de 5 núcleos provoca (devido à secção reduzida das culatras de retorno), um fluxo suplementar que passa no ar duma culatra a outra. A impedância homopolar é assim um pouco mais elevada que a dum transformador couraçado.

Para o circuito trifásico de 3 núcleos (o mais espalhado), o fluxo homopolar fecha-se exclusivamente pelo ar, duma culatra a outra.

Em todos estes casos, a saturação das partes magnéticas do circuito, pode provocar variações na impedância, que varia portanto com o valor da corrente homopolar.

Logo que a corrente homopolar pode circular nos enrolamentos, e que os amperes-espiras secundários compensam assim os do primário, a impedância homopolar corresponde à reactância de fuga do par de enrolamentos colocados sobre um núcleo.

A impedância directa é aquela oposta por um elemento de rede a um sistema directo de correntes, quer dizer, a uma corrente trifásica equilibrada, rodando no mesmo sentido que o sistema assimétrico primitivo. É aquela que geralmente se considera como a impedância do circuito. Para os transformadores, ela é igual à impedância de fuga.

A impedância inversa é aquela oposta por um elemento de rede a um sistema inverso, quer dizer a um sistema equilibrado de correntes girando no sentido inverso ao do sistema directo.

Nos aparelhos estáticos, as impedancias directas e inversas confundem-se; nas máquinas girantes elas são desiguais, devido à influência dum campo girante que é diferente conforme ele rodar no sentido de rotação do campo induzido pela máquina ou no sentido contrário.

Sem entrar no estudo detalhado das impedancias directas e inversas, assinalemos que se encontra nas redes, 3 espécies de elementos que apresentam características muito diferentes:

a) impedâncias independentes (resistências):
$Z_o = Z_d = Z_i = Z$

b) impedâncias independentes do sentido de rotação dos vectores (cabos, transformadores):
$Z_o \neq Z_d = Z_i$

c) impedâncias que dependem do sentido de rotação dos vectores (máquinas rotativas):
$Z_o \neq Z_d \neq Z_i$

A decomposição das tensões e correntes em três sistemas simétricos independentes só é válida nas redes simétricas. Se a rede apresenta uma assimetria própria, cada um dos três sistemas de tensão pode provocar correntes directa, inversa e homopolar. Isto será, especialmente, o caso que se tem ao estudar os defeitos monofásicos nas redes.

3) O curto-circuito monofásico

Consideremos (fig. 5) um alternador trabalhando em vazio e ligado a uma linha que apresenta na sua fase R uma ligação à terra (curto-circuito monofásico).

Até ao ponto onde se situa o defeito, as três impedâncias Z_o, Z_d e Z_i são respectivamente iguais nas três fases, e a resistência do defeito é nula, por hipótese.

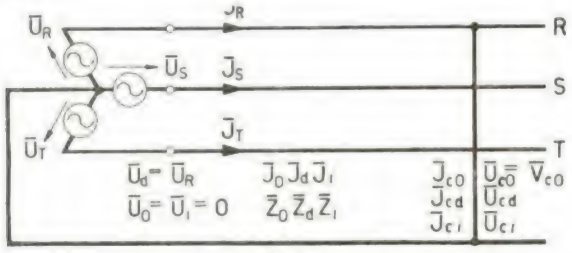


Fig. 5

O alternador produz um único sistema de tensão o sistema simétrico. Por outro lado, visto que ele está em vazio, podemos pôr, na zona do defeito:

$$J_{Rc} = J_c$$
$$J_{Sc} = 0$$
$$J_{Tc} = 0$$

As equações 10 a 12 permitem-nos determinar as componentes simétricas na zona abrangida pelo defeito:

$$J_{co} = \frac{1}{3}(J_{Rc} + J_{Sc} + J_{Tc}) = \frac{J_c}{3}$$
$$J_{cd} = \frac{1}{3}(J_{Rc} + a J_{Sc} + a^2 J_{Tc}) = \frac{J_c}{3}$$
$$J_{ci} = \frac{1}{3}(J_{Rc} + a^2 J_{Sc} + a J_{Tc}) = \frac{J_c}{3}$$

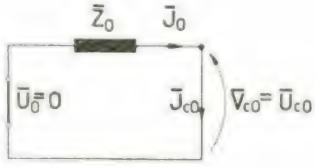
As correntes na rede são:

$$J_o = J_{co} = \frac{J_c}{3}$$
$$J_d = J_{cd} = \frac{J_c}{3}$$
$$J_i = J_{ci} = \frac{J_c}{3}$$

Os três sistemas são determinados pelas equações seguintes:

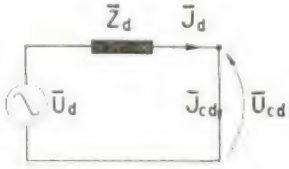
Para o sistema homopolar:

$$Z_o J_o - V_{co} = 0$$
$$V_{co} = Z_o J_o$$



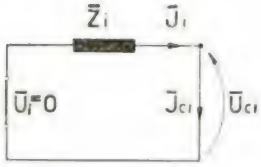
Para o sistema directo:

$$U_d + Z_d \cdot J_d - U_{cd} = 0$$



E para o sistema inverso:

$$Z_i J_i - U_{ci} = 0$$



Temos então

$$U_R + R \cdot J_R = 0$$

o que se exprime pelas componentes simétricas de

$$J_R = J_o + J_d + J_i$$
$$U_d + Z_o J_o + Z_d J_d + Z_i J_i = 0$$

Como $\quad J_o = J_d = J_i = \frac{J_c}{3}$

a corrente de curto-circuito é

$$J_c = -U_d \frac{3}{Z_o + Z_d + Z_i} \qquad (17)$$

e as suas componentes

$$J_o = J_d = J_i = -U_d \frac{1}{Z_o + Z_d + Z_i} \qquad (18)$$

As equações (1') (2') e (3') dão as correntes em cada fase

$$J_R = J_o + J_d + J_i = -U_d \frac{3}{Z_o + Z_d + Z_i} = J_c \qquad (19)$$
$$J_S = J_T = 0$$

A fig. 6 dá o diagrama vectorial correspondente.

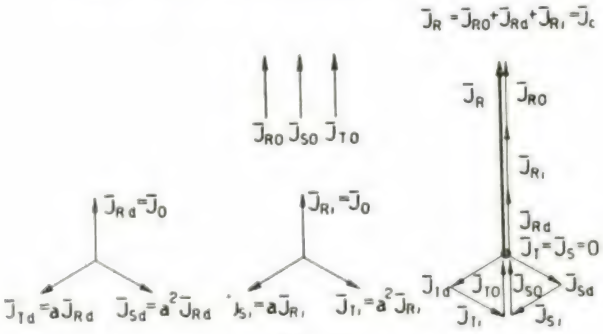


Fig. 6

Na zona do defeito, as tensões são as seguintes:

$$U_{co} = V_{co} = Z_o J_o = -U_d \frac{Z_o}{Z_o + Z_d + Z_i} \qquad (20)$$

A componente homopolar das tensões fornece-nos directamente o deslocamento do ponto neutro em relação à terra. A equação (20) mostra claramente que se a impedância homopolar Z_o for grande em relação às impedâncias directa e inversa, o ponto neutro toma, em relação à terra, uma tensão próxima da tensão simples da rede

Sistema directo:

$$U_{cd} = U_d + Z_d J_d = U_d \frac{Z_o + Z_i}{Z_o + Z_d + Z_i}$$

Sistema inverso:

$$U_{ci} = Z_i J_i = -U_i \frac{Z_i}{Z_o + Z_d + Z_i}$$

As tensões das três fases na zona do curto-circuito são:

$$U_{cR} = U_{co} + U_{cd} + U_{ci} = 0$$

$$U_{cS} = U_{co} + a^2 U_{cd} + a U_{ci} = \frac{-U_{RS} Z_o + U_{ST} Z_i}{Z_o + Z_d + Z_i} \qquad (21)$$

$$U_{cT} = U_{co} + a U_{cd} + a^2 U_{ci} = \frac{U_{TR} Z_o - U_{ST} Z_i}{Z_o + Z_d + Z_i}$$

Assim encontramos que se a impedância homopolar Z_o é grande em relação às outras impedâncias, a tensão das fases sãs atinge pràticamente o valor da tensão composta da rede.

Podemos, ainda, determinar as tensões compostas na zona do curto circuito.

$$U_{c\,RS} = U_{cR} - U_{cS} = \frac{U_{RS} Z_o - U_{ST} Z_i}{Z_o + Z_d + Z_i}$$

$$U_{c\,ST} = U_{cS} - U_{cT} = \frac{U_{ST} (Z_o + 2 Z_i)}{Z_o + Z_d + Z_i} \qquad (22)$$

$$U_{c\,TR} = U_{cT} - U_{cR} = \frac{U_{TR} Z_o - U_{ST} Z_i}{Z_o + Z_d + Z_i}$$

Exemplo I

Consideremos (fig. 7) um grupo trifásico composto de 3 transformadores monofásicos de 60 MVA.

Tensões nominais.

primário 60 kV

secundário 220 kV

Tensão de curto-circuito $u_s = 12\%$

corrente em vazio $J_v = 1{,}2\%$

Ligações estrela-estrela, com o neutro à terra do lado do secundário.

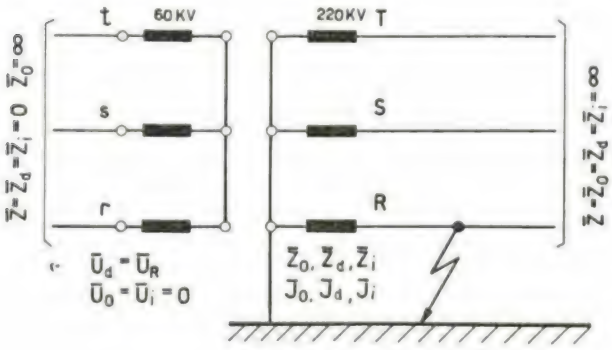


Fig 7

Os transformadores são alimentados por uma rede primária de potência infinita e encontram-se em vazio O terminal R está ligado à terra por um arco sem resistência. Desprezamos qualquer saturação eventual.

As hipóteses precedentes permitem considerar apenas as reactâncias do transformador.

As impedâncias directa e inversa são iguais à impedância de fuga, e desprezando a sua componente óhmica calculamos as reactâncias:

$$X_f = X_d = X_i = \frac{u_s}{100} \cdot \frac{U^2}{N} = \frac{12}{100} \cdot \frac{220^2}{180} = 3{,}24\ \Omega$$

Para os transformadores monofásicos a reactância homopolar é igual à reactância em vazio:

$$X_o = \frac{100}{J_v\,(\%)} \cdot \frac{U^2}{N} = \frac{100}{1{,}2} \cdot \frac{220^2}{180} = 22\,400\ \Omega$$

A corrente de curto-circuito é dada pela equação (17)

$$J_c = -U_d \frac{3}{X_o + X_d + X_i} =$$

$$= -127.000 \frac{3}{22.400 + 6{,}48} = 17\ A \simeq 3\ J_v$$

Ela é da ordem de grandeza da corrente em vazio.

A equação (20) permite determinar a tensão do ponto neutro em relação à terra, na zona do curto-circuito:

$$V_o = -U_d \frac{X_o}{X_o + X_d + X_i} =$$

$$= -127 \frac{22.400}{22.400 + 6{,}48} \simeq -127\ kV$$

As tensões das fases nessa zona são (equação 21)

$$U_{cR} = 0$$

$$U_{cS} = \frac{-U_{RS} \cdot 22.400 + U_{ST} \cdot 3{,}24}{22.400 + 3{,}24} \simeq -U_{RS} = 220\ kV$$

$$U_{cT} = \frac{U_{TR} \cdot 22.400 - U_{ST} \cdot 3{,}24}{22.400 + 3{,}24} \simeq U_{TR} = 220\ kV$$

enquanto que se verifica que as tensões entre fases são:

$$U_{c\,RS} = U_{c\,ST} = U_{c\,TR} = 220\ kV \qquad \text{(fig 8)}$$

O diagrama da fig. 8 dá as tensões na zona do curto-circuito. As tensões das fases sãs em relação à terra atingem pràticamente o valor da tensão composta, o que explica a razão porque o tipo de ligações considerado é inadmissível por princípio, logo que um ponto neutro é posto à terra.

Consideremos ainda a repartição das correntes:

Da equação (18), as correntes secundárias são

$$J_o = J_d = J_i = \frac{J_c}{3} = -U_d \frac{1}{X_o + X_d + X_i} \cong J_v$$

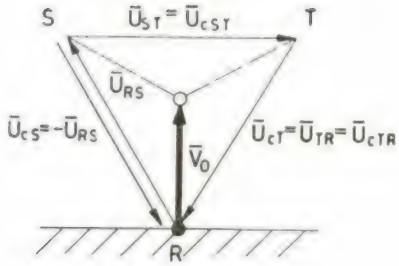


Fig. 8

e as correntes que circulam nas fases são, pela equação (19),

$$J_R = J_c\,,\quad J_S = 0\,,\quad J_T = 0\,.$$

Como o primário está desprovido de neutro, teremos neste ponto $Z_o = \infty$, e portanto $J_o = 0$.

Apenas os sistemas directo e inverso foram modificados, e as correntes primárias obtêm-se tendo em conta a relação de transformação

$$\ddot{u} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{220}{60} = 3{,}67$$

$$J_r = \ddot{u}\,(J_o + J_d + J_i)$$
$$J_s = \ddot{u}\,(J_o + a^2 J_d + a\,J_i)$$
$$J_t = \ddot{u}\,(J_o + a\,J_d + a^2 J_i)$$

ou seja introduzindo os valores precedentes,

$$J_r = \ddot{u}\,\frac{2}{3}\,J_c$$

$$J_s = -\ddot{u}\,\frac{J_c}{3}$$

$$J_t = -\ddot{u}\,\frac{J_c}{3}$$

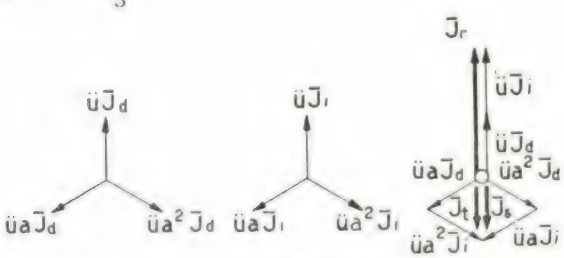


Fig. 9 — Diagrama vectorial das correntes primárias

Calcula-se que a diferença dos ampéres espiras primários e secundários sobre cada núcleo do transmador é igual a

$$\frac{J_c}{3}\cdot N_2 = J_o\cdot N_2$$

Cada núcleo é portanto excitado por uma corrente igual à corrente em vazio.

Exemplo II

Retomemos o mesmo caso do problema anterior mas supondo que o enrolamento primário está ligado em triângulo (fig. 10).

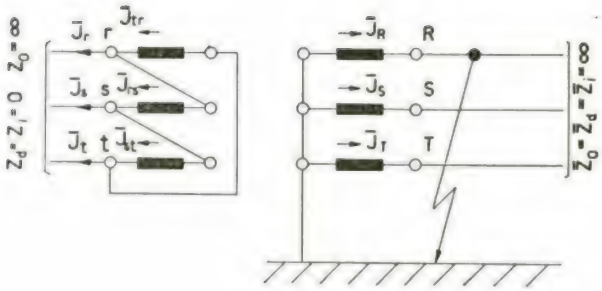


Fig. 10

Como a componente homopolar pode circular no enrolamento em triângulo, e criar ampéres-espiras iguais e opostos aos do secundário, a impedância homopolar é igual à impedância de fuga.

$$Z_o = Z_d = Z_i = Z_f = 3{,}24\ \Omega$$

Continuaremos a desprezar as resistências óhmicas considerando apenas as reactâncias.

A corrente de curto-circuito é

$$J_c = -U_d\,\frac{3}{X_o + X_d + X_i} = -\frac{U_d}{X_f} = 3.930\ A = J_{cc}$$

O deslocamento do ponto neutro é dado por

$$V_o = -U_d\,\frac{X_o}{X_o + X_d + X_i} = -\frac{U_d}{3} = -42{,}33\ kV$$

As tensões das fases em relação à terra são

$$U_{cR} = 0\,,$$

$$U_{cS} = \frac{-U_{RS}\cdot X_o + U_{ST}\cdot X_i}{X_o + X_d + X_i} = -\frac{U_{RS} + U_{ST}}{3} =$$

$$= \frac{220}{3}\cdot\sqrt{3} = 127\ kV\,,$$

$$U_{cT} = \frac{-U_{TR}\cdot X_o - U_{ST}\cdot X_i}{X_o + X_d + X_i} = \frac{U_{TR} - U_{ST}}{3} =$$

$$= \frac{220}{3}\cdot\sqrt{3} = 127\ KV,$$

enquanto que as tensões compostas são evidentemente

$$U_{c\,RS} = 127\ KV$$
$$U_{c\,ST} = 220\ KV$$
$$U_{c\,TR} = 127\ KV$$

Considerando o diagrama correspondente (fig. 12) nota-se que as tensões das fases sãs em relação à terra não mudaram. Este tipo de ligações do transformador é portanto mais favorável quando o neutro está ligado à terra.

Tal e qual como precedentemente, podemos calcular:

As componentes simétricas da corrente de curto-circuito (18)

$$J_o = J_d = J_i = \frac{J_c}{3} = -U_d \frac{1}{X_o + X_d + X_i} =$$

$$= \frac{J_{cc}}{3} = 1310 \text{ A},$$

as correntes por fase são

$$J_R = J_c = 3930 \text{ A} = 3 \cdot J_o, \quad J_S = 0, \quad J_T = 0 \quad .$$

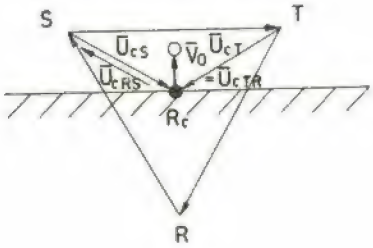


Fig. 11

As componentes simétricas da corrente primária são, para o tipo de ligação da fig. 10:

$$J_{I,o} = \frac{1}{3}(J_r + J_s + J_t) =$$

$$= \frac{\ddot{u}}{3}\left[(J_S - J_R) + (J_T - J_S) + (J_R - J_T)\right] = 0$$

$$J_{I,d} = \frac{1}{3}(J_r + a\,J_s + a^2 J_t) =$$

$$= \frac{\ddot{u}}{3}\left[(J_S - J_R) + a\,(J_T - J_S) + a^2\,(J_R - J_T)\right] =$$

$$= \frac{\ddot{u}}{3}\left[(J_o + J_d + J_i)\,(a^2 - 1) + (J_o + a^2 J_d' + a\,J_i)\right.$$

$$\left.(1 - a) + (J_o + a\,J_d' + a^2 J_i)\,(a - a^2)\right] = \ddot{u}\,(a^2 - 1)\,J_d$$

e encontramos do mesmo modo, para o sistema inverso

$$J_{I,i} = \frac{1}{3}\left(J_r + a^2 J_s + a\,J_t)\right) = \ddot{u}\,(a - 1)\,J_i$$

$(a^2 - 1)$ representa uma rotação de 150°, e $(a - 1)$ uma rotação de 210°, no sentido do campo girante.

Portanto encontramos no primário apenas os sistemas directo e inverso. O sistema directo primário está desfazendo de $-210°$ em relação ao sistema directo secundário, enquanto que o sistema inverso primário está desfazado de $+210°$ em relação ao sistema inverso secundário.

A corrente no enrolamento em triangulo é

$$J'_o = \frac{1}{3}(J_{rs} + J_{st} + J_{tr}) = \frac{\ddot{u}}{3}(J_R + J_S + J_T) = \ddot{u} \cdot J_o$$

Estas conclusões estão representadas na fig. 12.

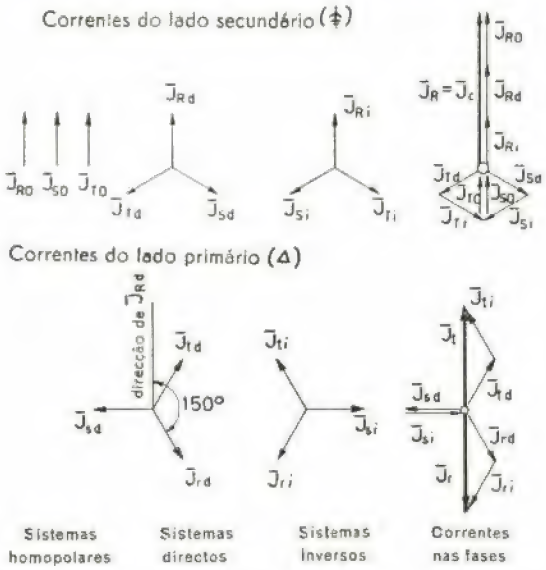


Fig. 12

4) O curto-circuito bi— ou trifásico

Para sermos completos, escrevamos ainda uma curta lista das fórmulas correspondentes a este caso de curto-circuito. Continuam válidas as hipóteses dos parágrafos precedentes.

Curto-circuito bifásico

Resistência de curto-circuito $= 0$

correntes $J_{cR} = 0$

$J_{cS} = J_c$

$J_{cT} = -J_c$

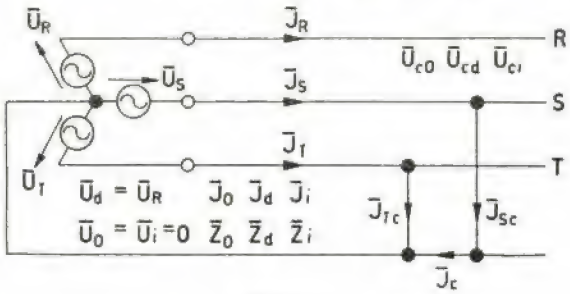


Fig. 13

Componentes simétricas :

$$J_{c,o} = \frac{1}{3}(J_{cR} + J_{cS} + J_{cT}) = 0$$

$$J_{c,d} = \frac{1}{3}(J_{cR} + a\,J_{cS} + a^2 J_{cT}) = \frac{1}{3}(a - a^2)\,J_c$$

$$J_{c,i} = \frac{1}{3}(J_{cR} + a^2 J_{cS} + a\,J_{cT}) = \frac{1}{3}(a^2 - a)\,J_c$$

A equação dos nós de Kirchhoff aplicada aos sistemas simétricos dá:

$$J_o = J_{co} = 0$$

$$J_d = J_{cd} = \frac{1}{3}(a - a^2) J_c \qquad (23)$$

$$J_i = J_{ci} = \frac{1}{3}(a^2 - a) J_c$$

As tensões no sistema símétrico são as mesmas que no caso precedente; notamos entretanto que

$$U_o = 0 \ , \ J_o = 0$$

Considerando a malha formada pelas fases S e T temos

$$U_S + Z \cdot J_S - Z \cdot J_T - U_T = 0$$

donde, tendo em conta as fórmulas 19 e 23, se deduz para as componentes simétricas

$$a^2 U_d + Z_d a^2 \frac{1}{3}(a - a^2) J_c + Z_i \cdot a \frac{1}{3}(a^2 - a) J_c$$

$$- Z_d a \frac{1}{3}(a - a^2) J_c - Z_i a^2 \frac{1}{3}(a^2 - a) J_c - a U_d = 0$$

ou, ainda,

$$(a^2 - a) U_d + \frac{J_c}{3}\Big[Z_d (1 - a - a^2 + 1) +$$

$$Z_i (1 - a^2 - a + 1 \Big] = 0$$

donde se conclui ser

$$J_c = \frac{(a - a^2) U_d}{Z_d + Z_i} = - \frac{U_{ST}}{Z_d + Z_i}$$

visto ser $1 - a^2 - a + 1 = 3$

Correntes:

$$J_o = 0$$

$$J_d = \frac{1}{3}(a - a^2)^2 \frac{U_d}{Z_d + Z_i} = - \frac{U_d}{Z_d + Z_i}$$

$$J_i = - \frac{1}{3}(a - a^2)^2 \frac{U_d}{Z_d + Z_i} = \frac{U_d}{Z_d + Z_i}$$

Correntes nas fases:

$$J_R = J_o + J_d + J_i = 0$$

$$J_S = J_o + a^2 J_d + a J_i = \frac{(a - a^2) U_d}{Z_d + Z_i} = - \frac{U_{ST}}{Z_d + Z_i} = J_c$$

$$J_T = J_o + a J_d + a^2 J_i = \frac{(a^2 - a) U_d}{Z_d + Z_i} = \frac{U_{ST}}{Z_d + Z_i} = - J_c$$

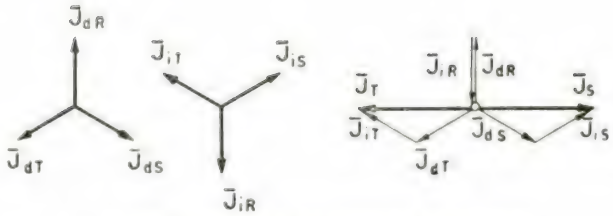


Fig. 14. Diagrama dos vectores de corrente

Tensões

$$U_{co} = 0$$

$$U_{cd} = U_d + Z_d J_d = U_d \frac{Z_d}{Z_d + Z_i}$$

$$U_{ci} = Z_i J_i = U_d \frac{Z_i}{Z_d + Z_i}$$

As equações 1', 2' e 3' dão as tensões por fase na zona do curto-circuito:

$$U_{cR} = U_d \frac{2 \cdot Z_i}{Z_d + Z_i}$$

$$U_{cS} = - U_d \frac{Z_i}{Z_d + Z_i}$$

$$U_{cT} = - U_d \frac{Z_i}{Z_d + Z_i}$$

e as tensões compostas:

$$U_{cRS} = U_d \frac{3 Z_i}{Z_d + Z_i}$$

$$U_{cST} = 0$$

$$U_{cTR} = - U_d \frac{3 Z_i}{Z_d + Z_i}$$

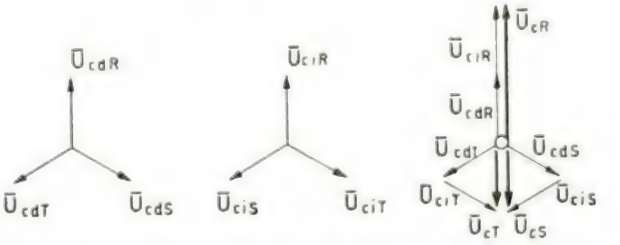
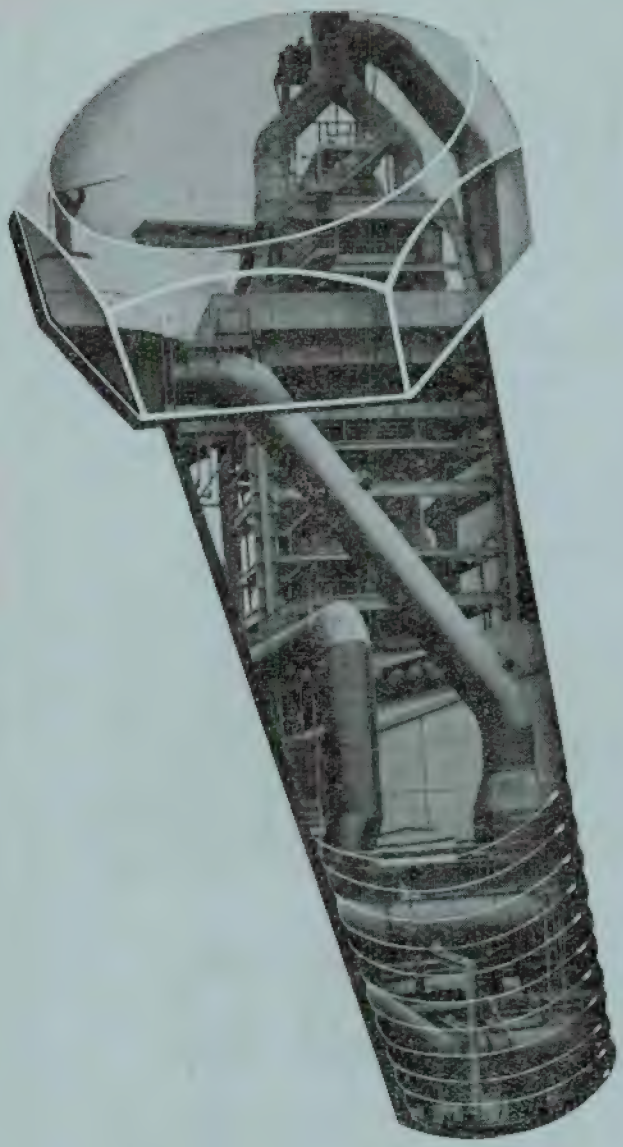


Fig. 15 — Diagrama dos Vectores de tensão

Curto-circuito trifásico

Para o curto-circuito trifásico, verifica-se da mesma maneira que subsistem apenas os sistemas directos de tensões e correntes Os problemas resolvem-se, portanto, da maneira habitual, tal e qual como para as redes trifásicas equilibradas.



Desde o parafuso

à unidade industrial

KRUPP

fabrica:

Instalações para produção de ferro e aço · Fornos «Renn» · Fornos de fundição e de redução, · Convertidores clássicos e a oxigénio · Trens de laminação · Equipamento para forja, fundição e estampagem · Fornos para cimento · Instalações para a indústria quimica · Equipamento para produção de fibras sintéticas.

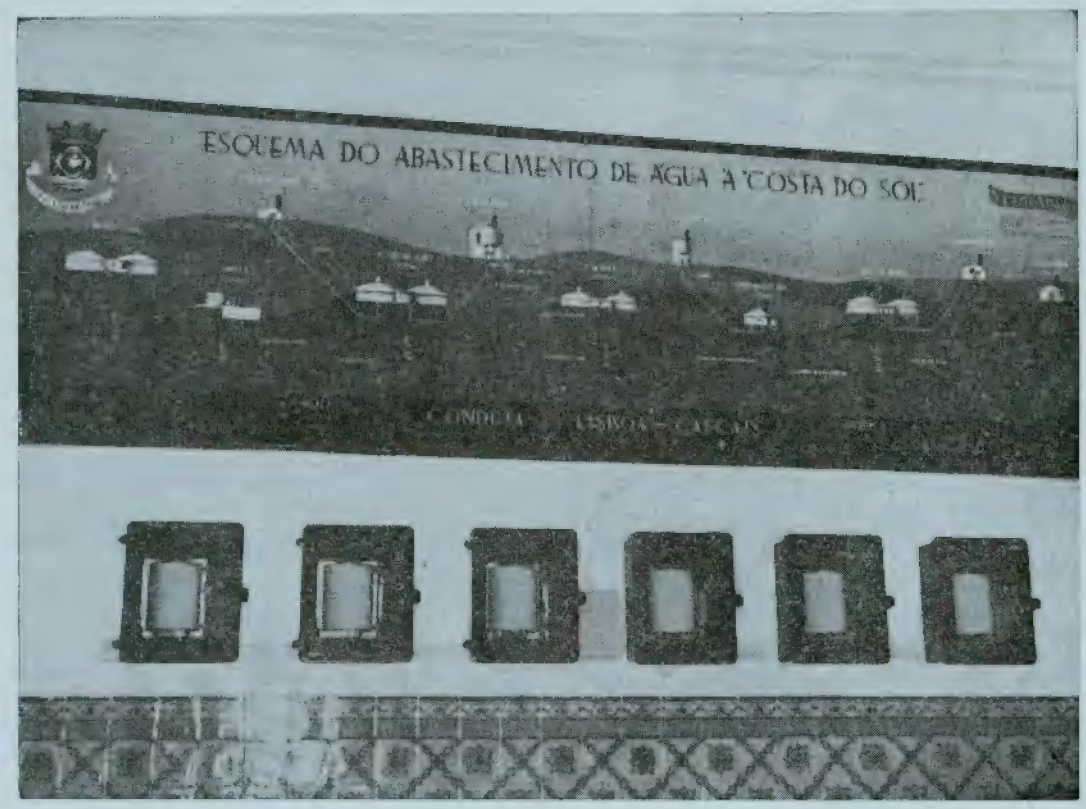
Instalações para tratamento de minérios · Pontes e estruturas para obras hidráulicas · Estruturas de aço em geral · Motores Diesel marítimos, estacionários e para veiculos automóveis · Camiões · Locomotivas · Material rolante de caminhos de ferro · Placas girantes · Agulhas · Acessórios de via · Instalações de iluminação de carruagens · Navios de alto-mar e equipamento mecânico para navios · Escavadoras, dragas e guindastes · Instalações de carga e descarga de minérios · Peças especiais revestidas de aço inoxidável · Peças fundidas e forjadas · Engrenagens · Ferramentas pneumáticas · Metal extra-duro WIDIA · Materiais magnéticos · Prensas hidráulicas · Instalações de extração de óleos comestiveis.

FRIED. KRUPP · ESSEN · ALEMANHA

Representantes Gerais
Sociedade de Importação e Exportação Lusomundo, Lda.,
Av. A. A. Aguiar, 126-5º. LISBOA

FR. RITTMEYER S. A.

Fabricantes de equipamento de controle para serviços de distribuição de água, barragens, etc.



Grupo de teleregistadores instalados na Central da Câmara Municipal de Oeiras. Esta instalação compreende emissores da medida do nível de água, dos 15 reservatórios equipados, por meio de impulsos de corrente contínua lançados através de pares telefónicos.

REPRESENTANTES:

FACTO, LDA.

R. DA MADALENA, 46-2.º — LISBOA

BIBLIOTECA
FICHEIRO

Classificadores responsáveis:

José Fernando Pinharanda, Carlos Ramalho Carlos, Alberto Esteves Guerra, Arménio de Oliveira Faria Belarmino Silveira e António José Falcão

---

Recortar as indicações bibliográficas que formam uma ficha e estão encimadas por CDU (Classificação Decimal Universal).

Colar cada referência num pequeno rectângulo de cartolina de 75 × 125 mm.

Ordenar pelos índices decimais, *começando da esquerda para a direita,* independentemente do número de algarismos que o índice contiver, e respeitando a seguinte regra de arrumação dos sinais auxiliares:

+ / n.os simples : [ ] = (01/09) (1/9) (=) " "A/Z — .0 .00

Consultar, em casos duvidosos, a exemplificação inserida na «Técnica» n.º 218 e seguintes, ou recorrer à Biblioteca da A. E. I. S. T.

Notar que a inserção das fichas nesta publicação respeita a ordem correcta, no intuito de a esclarecer o mais possível.

A comodidade de possuir no próprio local de trabalho um arquivo ordenado e de fácil consulta sobre assuntos que se sabe onde existem, é uma das evidentes vantagens de um ficheiro classificado segundo a CDU

Os assuntos de que estas fichas são referência ficam patentes à consulta a partir desta data.

LIVROS

C. D. U. 331.113.2 (= 1.673)

Subsídio para estudo do emprego da mão de obra indígena nas actividades industriais de Angola — *J. Araújo de Freitas.*

II Congresso da Indústria Portuguesa, vol. 1 págs. 3.

C. D. U. 374.6(42)

Youth in a technical age. A Study of Day Release — *Dorothy Silberston.*

Max Parrish, London, 1959, vol. 1, págs. 228.

O ensino pós-escolar como meio poderoso que é, para levar ao sector trabalhador, sobretudo aos jóvens trabalhadores, aquele mínimo de elementos que a Escola, por vários motivos, lhe não pôde ministrar e que facilitarão o seu acesso a um nível cultural mais elevado, isto é, que os ajudarão a ser mais livres e mais conscientes da sua posição e atribuições, deve merecer os maiores cuidados e atenções.

Esse ensino e os cursos de aperfeiçoamento técnico são um problema tanto mais importante quanto sabemos que aqueles jóvens, na maior parte provindo das classes privilegiadas, a quem é possibilitado o acesso ao Ensino Superior denotam universalmente, ou melhor, no chamado mundo ocidental, uma nítida tendência, talvez reminiscência duma mentalidade medieval, para os trabalhos não-manuais, nobres, isto é os estudos especulativos, não-produtivos, que lhes abrirão os caminhos da burocracia, da advocacia, etc., em detrimento dos estudos científicos e técnicos, ainda subconscientemente ligados à ideia pejorativa de trabalho manual. A este preconceito deve ainda juntar-se um decadente princípio anti-científico, bastante exacerbado em certos sectores da sociedade europeia deste e cujas raizes são outras.

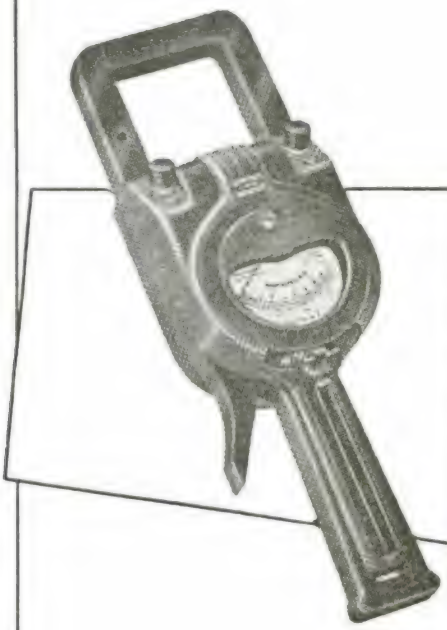
Para os jovens que por qualquer razão (dificuldades financeiras, má-vontade contra a escola, desinteresse pelo estudo, desejo de vida independente, etc.), abandonaram permaturamente os cursos que seguiam para se empregarem, e que, tendo-se cor sciencializado, queiram agora aperfeiçoar os seus conhecimentos, geralmente sobre um aspecto mais ligado à respectiva profissão, estes estudos ultra-escolares apresentam evidentemente um interesse notável.

Em «Youth in a Techical age — A study of Day Release», a Autora relata os resultados de um ano de trabalho como Research Fellow no Leeds Institute of Education, traçando-nos ainda uma pequena história do problema dos estudos extra-escolares na Grã-Bretanha. Estes estudos são feitos em dias ($^1/_2$ ou 1) de licença semanais e ocasionalmente por períodos mais largos.

Em 1956/57 245.277 jóvens trabalhadores com menos de 18 anos tiveram oportunidade de seguir esses cursos e, segundo os planos governamentais, em 1965 haverá 448.000 jóvens nessas condições, isto é, 1 em cada 3 jóvens empregados. Estes estudos têm sido auxiliados pelo Governo, pelas Autoridades escolares locais pelos Trade-Unions e a sua realização exige uma compreensão muito especial da parte da entidade empregadora, que, naturalmente, nem sempre é muito expontânea.

O auxílio pela parte do Governo foi influenciado negativamente, como também as restantes despesas

PINÇAS FERRANTI



PINÇAS VOLT — AMPERIMÉTRICAS

7 ESCALAS

EM AMPÈRES	EM VOLTS
0 – 10 AMPS.	0 – 150 V
0 – 25 »	0 – 600 »
0 – 100 »	
0 – 250 »	
0 – 1000 »	

PINÇA WATTIMÉTRICA

7 ESCALAS

0 – 3 KW
0 – 6 »
0 – 12 »
0 – 30 »
0 – 60 »
0 – 120 »
0 – 300 »

REPRESENTANTES:

C. SANTOS LDA.

29, AVENIDA DA LIBERDADE, 41 — LISBOA

DIVISÃO MARÍTIMA E TÉCNICA
T. DA GLÓRIA, 17 — LISBOA
160, R. STA. CATARINA, 168 — PORTO

Servindo a
INDÚSTRIA
NA LUBRIFICAÇÃO DE TODOS
OS SISTEMAS DE ENGRENAGENS
LUBRIFICANTES
Sonap

de educação, pelo aumento de verbas militares para a N.A.T.O. e para a guerra da Coreia, pelo desiquilíbrio da balança de pagamentos, etc. É curioso, e triste, reparar neste critério governamental que parece estender-se também a vários outros países, como por exemplo a França, onde se deu um notável corte nas despesas de educação devido ao incremento das de manutenção da guerra na Argélia.

Em conclusão: a Autora apresenta vários factos e aspectos salientes de «Day Release Education», destacando a experiência dos Correios, e que formam um estudo de útil consulta para quem se interesse, directa ou indirectamente, por estes problemas.

Quando teremos nós em Portugal uma instituição semelhante? E entre nós os 80% da juventude não abandona a Escola aos 15/16 anos, como na Grã-Bretanha, mas bastante mais cedo.

C. D. U. 551.311.22 [552.32] 553.495

Hematitização e alteração ferruginosa no granito das Beiras. Sua relação com ocorrências de Urânio — *J. Avila Martins.*

Junta de Energia Nuclear — Mem. — 16, 1959, vol. 1, págs. 16 + 5 est.

14 ref. bibl.

C. D. U. 551.351.2 (673)

Les Fléches de sable de la côte d'Angola — *Fernando Manzanares Abecasis.*

L. N. E. C., 1958, vol. 1, págs. 9.

C. D. U. 624.131.1

Contribution on the physical interpretation of soil properties — *Úlpio Nascimento.*

L. N. E. C., 1958, vol. 1, págs. 8.

Memória n.º 118.

C. D. U. 628.28

Limpeza de rêdes de esgotos: dispositivos automáticos de descarga — *Armando Lencastre.*

L. N. E. C., 1957, vol 1, págs. 8.

Memória n.º 109.

C. D. U. 664.95.003.1

Indústria de conservas de peixe — *Costa (Antônio Valente da Fonseca Alves da).*

II Congresso da Indústria Portuguesa, vol. 1, págs. 25.

C. D. U. 669.21/.29.003.1

Metalurgia dos metais não ferrosos — *Vergilio Rui Teixeira Lopo.*

II Congresso da Indústria Portuguesa, vol. 1, págs. 52

C. D. U. 671/673.003.1

Indúsfrias metalomecânicas ligeiras — *Gil da Silva.*

II Congresso da Indústria Portuguesa, vol. 1, págs. 61.

C. D. U. 691.52 (469)

Estudo dos inertes da região de Lisboa — *U. do Nascimento, A. Simões* e *M. Coelho Nunes.*

L. N. E. C., 1958, vol. 1, págs. 33.

Memória n.º 112.

C. D. U. 727 (492)

Construcción de escuelas en los Países Bajos — *J. A. A. Verlinden* e *J. Zietsma.*

Vol. 1, págs. 32.

ARTIGOS DE REVISTAS

C. D. U. 330.114 (673)

Algumas considerações acerca do problema do desenvolvimento económico de Angola — *Armando Castro.*

Rev. Economia, 9-958, vol. 11, n.º 3, pág. 121-125.

C. D. U. 330.191.5 (469)

O Espaço Económico Português — Alguns aspectos estruturais — *M. de Santos Loureiro.*

Rev. Economia, 9-958, vol. 11, n.º 3, pág. 101-114

C. D. U. 330.191.6 (4)

La Comunità Economica Europea alla vigilia del suo primo anno di vita — *Walter Hallstein.*

Studi sul Lavoro, 10/12-958, n.º 7, pág. 357-367.

C. D. U. 331.881 : 331.892

Relazione al progetto di legge sull'ordinamento sindacale e sull'esercizio del diritto di sciopero — *Achille Marazza.*

Studi sul lavoro, 10/12-958, n.º 7, pág. 408-449.

C. D. U. 398.4 (45) (091)

Le Universitá in Italia — *Ettore Raymondi.*

Studi sul lavoro, 7/9-958, n.º 6, pág. 207-216.

C. D. U. 518.5 : 512.1/.5

Resolução de equações de 2.º, 3.º e 4.º grau com a régua de cálculo — *Filipe de Paiva Brandão.*

Engenharia, 1-959, n.º 24, pág. 15-21.

C. D. U. 531.55 : 521.69

Uma órbita simétrica de um foguetão para vôo em torno da Lua — *G. A. Tchebotarev.*

Gazeta de Matemática, 3/6-958, vol. 19, n.º 70-71 pág. 1-7.

C. D. U. 532.582.7 : 551.482.212.3.0001

Sur la mécanique du mouvement des matériaux solides *S. Jolin.*

La Houille Blanche, 11-958, vol. 13, n.º 6, pág. 607-618.

ESTAMPARIAS TINTURARIAS LAVANDARIAS

PARA OS VOSSOS TECIDOS TÉCNICOS:
TRANSPORTADORES, MANKONS, LAPPING, WOLFRIES.
FLANELAS, CANEVAS, ETC.,

EM FIBRAS NATURAIS OU SINTÉTICAS

Consultem:

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS
SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEF.: 93
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

Acaba de aparecer

Manual de Hidráulica Geral

SÍNTESE TEÓRICA

TABELAS E ÁBACOS

FORMULÁRIO POLIGLOTA

Pelo Eng.º Armando Lencastre

Chefe da Secção de Hidráulica Fluvial do L. N. E. C.
Assistente do I. S. T.

Pedidos à "TÉCNICA"

Preço 150$00
Desconto 10 % aos assinantes

C. D. U. 532.59 : 532.13

Sur quelques résultats d'amortissement de houles de laboratoire et leur interprétation — *R. Miche.*

La Houille Blanche, 2-958, n.º 1, pág. 40-74.

C. D. U. 533.6.055. «Data link»

Evaluator and Trainer for Tacan Data Link — *William B, Sudduth and J. F. Sullivan.*

Electrical Communications, 9-957, vol. 34, n º 3, pág. 271-276.

C. D. U. 511.451 : 546.22

Contribución al estudio de la reducción del anhidrido sulfuroso — *Joaquin Barea.*

Ion, 7-958, vol. 18, n.º 204, pág. 424.

C. D. U. 547.53 : 543

Benzolismo — Critério para sur caracterización — *Jose José Rofols Povira.*

Ion, 10-958, vol. 18, n.º 207, pág. 602.

C. D. U. 551.51

Contribuição para o estudo da energética da circulação geral da atmosfera — *José Pinto Peixoto.*

Revista da Faculdade de Ciências, 957-958, vol. 6, pág. 54-230.

C. D. U. 551. (548.961)

Notas e bibliografia acerca da geologia do norte de Goa — *Gerhard Oertel.*

Com. Serv. Geol. Port, 1957, vol. 38, n.º 1, pág. 243-252, 1 carta.

C. D. U. 551.23 : 551.21 (469.931)

Étude géologique de la Région de Furnas dans l'île de S. Miguel (Açores) — *A. C. Branco + G. Zbyszewsky + F. M. Almeida. + A. C. Medeiros.*

Com. Serv. Geol. Port., 1957, vol. 38, n.º 1, pág. 5-61, 1 carta, 22 estampas.

C. D. U. 551.313 (282.24)

Étude des conditions de sédimentation dans l'estuaire de la Seine — *Bogdan Rajcevic.*

Annales de l' I. T. du Bâtiment et des Travaux Publics, 9-957, n.º 117, pág. 743-776.

C. D. U. 551.46 : 539.17

Le congrès de Genève «L'atome pour la paix» et l'Hydrodynamique (septembre 1958) — *R. Gibrat.*

La Houille Blanche, n.º B, 1958, pág. 775-783.

C. D. U. 551.482.212.3

Sur la mécanique du mouvement des matériaux solides — *Selim Yalin.*

La Houille Blanche, 11-958, n.º 6, pág. 607-618.

C. D. U. 552.333 : 552.323 (469.931)

Étude microscopique des roches de la région de Furnas (S. Miguel — Açores) — *E. Jeremine.*

Com. Serv. Geol. Port., 1957, vol. 38, n.º 1, pág. 65-90.

C. D. U. 553.31 : 669.1

Importância actual dos minérios de ferro — *H. Guimarães dos Santos.*

E. N. T. Serv. Foni. Min, vol. 12, n.º 1-2, pág. 140-155.

C. D. U. 553.311 : 622.341.1 (469.521.21)

Minas de ferro da Preguiça n.º 6 e Serra da Abelheira — *J. J. O. Barros + C. Araújo. + A. A. Rocha Gomes.*

E. N. T. Serv. Foni. Min, vol. 13, n.º 1-2, pág. 39-46.

C. D. U. 553.551.1 (469.512.24)

Calcários cristalinos de Vila Viçosa — Souzel — *J. Martins da Silva + M. V. F. Camarinhas.*

E N. T. Serv. Foni. Min, vol. 12, n.º 1-2, pág. 66-139.

C. D. U. 562/569 : 551.782.11 (464.411.16)

Le Burdigalien de Lisbonne — *Georges Zbyszewski.*

Com. Serv. Geol. Port, 1957, vol. 38, n.º 1, pág. 91-226, 19 est.

C. D. U. 620.174.2

An instrument for the examination of changes on bent test-pieces — *Z. B. Sóligom.*

Acta Technica, 1958, vol. 22, n.º 1-2, pág. 3-12.

C. D. U. 620.92 : 553.981

El gas natural, nueva fuente de energia — *Juan José Alzugaray Aguirre.*

Dyna, 4-959, vol. 34, n.º 4, pág. 236-240.

C. D. U. 621.314.63 : 621.39

Nouvelles diodes à jonction au silicium pour les transm ssions — *Ernest Hofmeister.*

Siemens, 1958, n.º 2, pág. 75-83.

C. D. U. 621.314.634.027.7 : 621.359.4 + 669.162.252.462

High voltage rectifiers in the iron and steel industry — *E. Hanson.*

Metropolitan Vicker's Gazette, 11-958, vol. 29 n.º 472, pág. 293-297.

C. D. U. 621.316.57.064.45

Les disjoncteurs pneumatiques Brown Boveri pour postes extérieurs sont utilisés dans le monde entier — *Launer P.*

Rev. Brown Boveri, t. 45 (1958), n.º 9, pág. 397-407, 23 fig

C. D. U. 621.316.79

Un nouveau régulateur électrique — *Karl Schlick.*

Siemens, 1958, n.º 1, pág. 6-11.

C. D. U. 621.316.718.5

Réglage de la vitesse des petits moteurs a courant continu a l'aide d'un redresseur commandé par transducteur — *Ström, N. E.*

ASEA-Revue 30, (1958) : 4, pág. 88-91.

ATLANTIC
UMA TINTA
PARA CADA FIM
FABRICA LUSITANA
DE TINTAS E VERNIZES
LIMITADA
FUNDADA EM 1917

C. D. U. 621.31.004/5. «1958»

Le material électrique vu a «Mécanélec» 1958 — *C. Guillou.*

Électricité, 11-958, n.º 254, pág. 361-378; n.º 252, pág. 311-334.

C. D. U. 621.315.2.023

Enfoque crítico de las distintas características de los cables para altisima tensión — *Paolo Gazzana Priaroggia.*

La Ingenieria, 12-957, n.º 967, págs. 758-765

C. D. U. 621.317.311.022 : 538.632

Les culasses pour fortes intensités Siemens avec générateurs Hall — *Karl Maaz.*

Siemens, 1958, n.º 1, pág. 38 a 43.

C. D. U. 621.318.4 : 621.317.18

Asdet — *Charles, T. G.*

ASEA-Revue 30 [1958], 4, p. 79-87.

C. D. U. 621.318.134

The ferrites an outline of their structure, properties and applications — *Wills Jackson.*

Metropolitan Vickers Gazette, 2-958, vol. 29, n.º 463 pág. 59 a 69.

C. D. U. 621.318.4 : 621.317.18

The Asdet — *Charles, T. G.*

ASEA-Journal 31 [1958], 7, pág. 98 105.

C. D. U. 621.373.4 : 621.365.5 : 621.3.012

El empleo intermitente de las válvulas osciladoras en los generadores de calentamiento por R. F.

Boletin de Aplicaciones electrónicas, 57/58, vol. 18 n.º 2, pág. 45 a 49.

C. D. U. 621.374.32 : 681.142 : 621.382

A basic transistor circuit for the construction ofdigital-computing systems — *P. L. Cloot.*

Metropolitan Vickers Gazette, 11-958, vol. 29, n.º 472, pág. 298.

C. D. U. 621.375.4 : 541.2

Les transistors sont liés à l'atome — *M. Lorach.*

Électricité, 10 958, n.º 253, pág. 345 a 348.

C. D. U. 621.383 : 546.28

Cellules photo-électriques au silicium — *Richard Wiesner et Franz Nissl.*

Siemens, 1958, n.º 2, pág. 68-74.

C. D. U. 621.396.933.24

Erhöhung der Kursgenauigkeit der VOR-Bodenanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Uberwachungseinrichtung — *Tenning, H.*

SEL-Nachr. 6 (1958), H. 2, S. 94-97.

C. D. U. 627.235

Recherches sur les brise-lames flottants destinés à réfléchir la houla en eau peu profonde — *A. K. Johnston.*

La Houille Blanche, n.º 6, 1958, pág. 619-638.

C. D. U. 627.3 (481) : 621.86

Installation de manutention à Narvik pour le trasasbordement de minerais suédois.

Revue Demag, 1916, n.º 146, pág. 1-18.

C. D. U. 627.814

Estudo gráfico de um reservatório de regularização — *M. Varlet.*

Sanevia, 5-957, n.º 18, pág. 5-13.

C. D. U. 627.82.058

A observação do comportamento das barragens de betão — *Ferreira da Silveira.*

Revista do Clube de Engenharia, 3-958, n.º 259, pág. 29-34.

C. D. U. 656.259.1

Automatic Magnetic Train Control — *Siegfried Baumgart and Kurt Buder.*

Siemens, 1958, vol. 25, n.º 8, pág. 265-271.

C. D. U. 658.51

Aplicação dum método gráfico ao estude duma fabricação — *Vasco Sanches da Silva Sá.*

Engenharia, 1-959, n.º 24, pág. 22-35.

C. D. U. 662.61

The Mechanism of Combustion of Pulverized Fuel — *P. O. Rosin.*

Combustion, 1-959, vol, 30, n.º 7, pág. 28-37.

18 referências bibliográficas.

C. D. U. 665.54

Nueva Refinaria de Petróleo — *Douglas A. Kirk.*

Ion — Madrid, 2-958, vol. 27, n.º 198, pág. 3.

C. D. U. 666.94 (047) (4) «1956»

Panorama de la industria del cemento europea en el año 1956 — *Patricio Palomar Llovet.*

Cemento-Hormigon, 9-957, vol. 23, n.º 382, pag. 426-442.

C. D. U. 666.94 (047) (73) «1957»

La industria norteamericana del cemento en el año 1957 — *Patricio Palomar Llovet.*

Cemento-Hormigon, 6-958, vol. 24, n.º 291, pág. 289 292.

C. D. U. 669.162.041.532

Fabrico de gusa com minérios portugueses em baixo-forno experimental, na Klöckner-Humboldt Deutz, A. G., em Colónia — *A. J. A. Rodrigues, L. C. Sola, R. V. Moniz, V. P. Pinheiro.*

ENT. Sev. Fom. Min., vol. 22, n.º 1-2, pág. 5-65.

Celulite

ISOLAMENTO
TÉRMICO DAS
CONSTRUÇÕES

PAVIMENTOS
*
TECTOS
*
PAREDES
*
CÂMARAS
FRIGORÍFICAS
*
ISOLAMENTOS
INDUSTRIAIS

Terraços e pavimentos isolados com CELULITE no edifício da Comp.ª de Seguros Fidelidade — P. das Águas Livres — Lisboa

SETH, LDA. ✦ RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.° ✦ TEL. 73 01 56 — LISBOA

Para impermeabilizar terraços,
paredes, fundações, etc.

COLAGEM DE
TACOS DE MADEIRA

TELEF. 73 0156 TELEG. EPALDA — LISBOA

EMPREZA DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS
IMPERMEABILISADOR
IMEPA
RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.° - LISBOA

FÁBRICA EM SACAVÉM

C. D. U. 674.04

Estado actual das pesquisas sobre madeira — *Jean Compredon.*

Revista dos Eng.ºs Auxiliares, Agentes Técnicos e Condutores, 1-2-958, vol. 13, n.º 1, pág. 11-18.

C. D. U. 676

Progressos técnicos en la fabricación de papel — *F. de Castro.*

Dyna, 2-959, vol. 34, n.º 2, pág. 91.

C. D. U. 691.113

Para uma melhor utilização da madeira do pinheiro bravo — *Pinus Pinaster.*

Arquitectura, 7-957, n.º 59, 33-40.

C. D U. 691.32 : 728.1

Betão sem «finos» — *Juvito Tainha.*

Binário, 11-12-958, n.ºs 8-9, pág. 50 68.

C. D. U. 691.327 : 624 058

El control en obra de los hormigones — *José Loto Burgos.*

Cemento-Hormigon, 6-958, vol. 24, n.º 291, pág. 294-299.

C. D. U 691.327.026

L'ancrage élastique des volées d'escaliers droits dans les dalles de palier — *Lothar Funke.*

Béton-Armé, 9-958, n.º 11, pág. 5-8.

C. D. U. 691.327 — 127

Les bétons isolants — *R. C. Valore.*

Béton-Armé, 9-958, n.º 11, pág. 31-36; 12-958, n.º 12, pág. 35-38.

C. D. U. 691.544 : 545 (083.74)

Cimento Portland — Determinação do teor em óxido ferroso — *L. N. E. C.*

Especificações, 1958, n.º 57, pág, 2.

C. D. U. 691.544 : 545

Cimento Portland — Determinação do teor em anidrido silícico — *L. N. E. C.*

Especificações, 1958, n.º 43, pág. 7.

C. D. U. 691.834 : 620.173

Tubos de fibrocimento para abastecimento de água — ensaio de pressão interior — *L. N. E. C.*

Especificações, 1957, n.º 39, pág. 5.

C. D. U. 691.834 : 620.173

Tubos de fibrocimento para abastecimento de água — ensaio de compressão diametral — *L. N. E. C.*

Especificações, 1957, n.º 40 pág. 5.

C. D. U. 691.834 : 620.174

Tubos de fibrocimento para abastecimento de água — ensaio de flexão — *L. N. E. C.*

Especificações, 1957, n.º 41, pág. 5.

C. D. U. 699.84.009.182

O projectista em face do «Regulamento de segurança das construções contra os sismos» — *Anibal S. Vieira.*

Binário, 11-12-958, n.ºs 8-9, pág. 39-43.

C. D. U. 690.874

Manchas de vegetação parasitária em paramentos rebocados de alvenaria — *Ruy José Gomes.*

Binário, 10-958, n.º 7, pág. 27-30.

C. D. U. 711.1 : 620.9

Énergie et aménagement du territoire II — *Vários.*

Urbanisme, n.º 61, pág. 7-51.

C. D. U. 711.4 : 534.322.3

La lutte contre le bruit — *René Schmitt.*

Urbanisme, n.º 61, pág. 53-56.

C. D. U. 711 : 711.6

Le calme et l'ensoleillement de l'habitation — *Jean Lebreton.*

Urbanisme, n.º 61, pág. 57-64.

C. D. U. 711.73 (494)

Routes express urbaines — *P. Soutter.*

Bulletin Technique de la Suisse Romande, 27-9-958, n.º 20, pág. 321-330.

C. D. U. 72.034 (169)

Sobre a arquitectura maneirista — *Jorge Henrique Pais da Silva.*

Arquitectura, 9-958, n.º 62, pág. 39-49.

C. D. U. 72 036 : 72.01

O desenvolvimento da arquitectura contemporâne e a consciência da tradição — *Gakugi Yamamoto.*

Binário, 11/12-958, n.ºs 8-9 pág. 1-8.

C. D. U. 725.4 : 621.3

Factories for Special Components — *N. C. Rolfe.*

Journal, 4-958, vol. 4, n.º 40, pag. 176-180.

C. D. U. 728 1 : 693.1

A construção dos conjuntos de Orleães (França) — *J. Coiffard, M. Dechaut, M. Bazin.*

Binário, 10-958, n.º 7, pág. 31-40.

C. D. U. 728.31 (42)

Os blocos de habitação de Langham House — *James Stirling* e *James Gowan.*

Binário, 11/12 958, n.º 8-9, pág. 15 23.

C. D. U. 744 (083.74)

Desenhos Técnicos — Vistas — *L. N. E. C.*

Especificações, 1957, n.º 54, pág. 5.

C. D. U. 744 : 66/69

O desenho industrial — *Wilhelm Wagenfeld.*

Binário, 11-9-958, n.º 8-9, pág. 26-33.

TABELAS TÉCNICAS
PARA
ENGENHARIA CIVIL

POR

NUNO ABRANTES

E

A. CELESTINO DA COSTA

Sob a direcção do Prof. Vicente Ferreira

4.ª Edição revista e aumentada

PELOS ENGENHEIROS

Fernando Abecasis e Sidónio Brazão Farinha

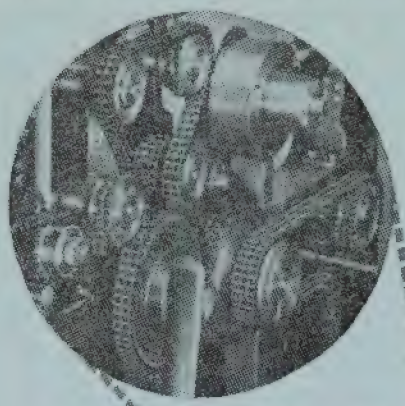
PEDIDOS À «TÉCNICA»

Preço: 120$00

Assinantes: 10% de desconto

A TRANSMISSÃO MAIS EFICIENTE

Ausência de escorregamento — Funcionamento silencioso



RENOLD

ECONOMIA
DE ESPAÇO
LONGA
DURAÇÃO

Unicos Agentes:
HARKER, SUMNER & C.ª, LDA.
LISBOA = PORTO

SONDAGENS RÓDIO, L.DA

LISBOA

RUA S. MAMEDE AO CALDAS, 22, 3.º

Telefones: 2 8685 - 2 6865 ✦ Telegramas: SETANSOL

RÓDIO

SONDAGENS GEOLÓGICAS
ESTUDOS GEOTÉCNICOS
ESTACAS GUNITA
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS
CONGELAÇÃO DO TERRENO
IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS HIDRÁULICAS
CONSOLIDAÇÃO DE FUNDAÇÕES
ABAIXAMENTO DO LENÇOL DE ÁGUA

—//—

Engenheiro Chefe: **Walter Weyermann**

AUGUSTO CAVACO

ENGENHEIRO

SONDAGENS
FUNDAÇÕES
CAPTAÇÕES DE ÁGUA
REBAIXAMENTOS
DE NÍVEIS AQUÍFEROS

RUA RODRIGO DA FONSECA, 62 · LISBOA · TELEF. 5 3873

ESCAVADORAS

RUSTON BUCYRUS, LTD.

E

BUCYRUS-ERIE & CO.

Modelos de 3/8 a 36 jardas cúbicas

125 unidades vendidas em Portugal e no Ultramar

Stock permanente de peças sobressalentes

Oficina de reparações

Técnicos e mecânicos especialisados

Ensino e treino de operadores

Representantes exclusivos para Portugal e Ultramar

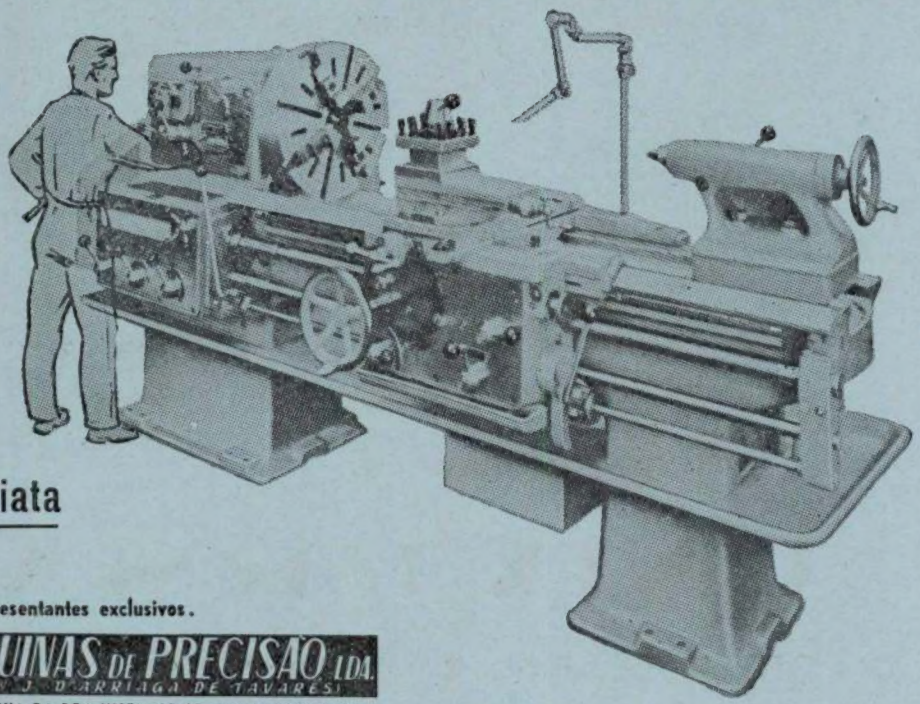
MONTEIRO GOMES, LIMITADA

Rua Cascais, 47 (Alcântara)

LISBOA ✦ LUANDA ✦ LOURENÇO MARQUES

MÁQUINAS FERRAMENTAS DE QUALIDADE

Tornos Paralelos
Limadores
Engenhos Radiais
Máquinas de Rectificar
Tornos Revólver
Frezas
Escateladores
Plainas
Mandriladoras



Entrega imediata

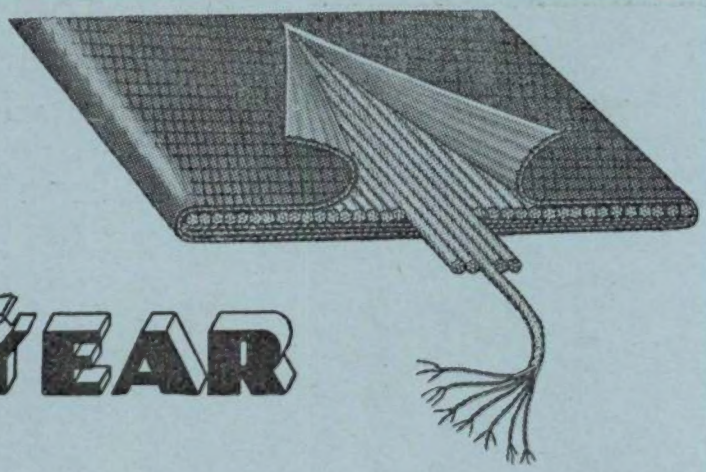
Representantes exclusivos.

MAPREL

MÁQUINAS DE PRECISÃO LDA.
ENG.º J. D'ARRIAGA DE TAVARES

LISBOA — RUA DA BOA VISTA, 45-49 — TELEF. 666086-7
PORTO — RUA DE SANTA CATARINA, 653 A 663 — TELEF. 28720
LUANDA — RUA DIREITA DE LUANDA, 150 — TELEF. 4232 - C. P. 304

Se devido às altas velocidades e pequenos diâmetros dos tambores, as telas das correias que usa se descolam, use correias sem-fim tipo **COMPASS**, um produto da



GOODYEAR

Em vez de telas, estas correias têm cordas sem-fim, o que dando maior flexibilidade à correia e uma menor espessura, permite maiores velocidades e menores diâmetros de tambores.

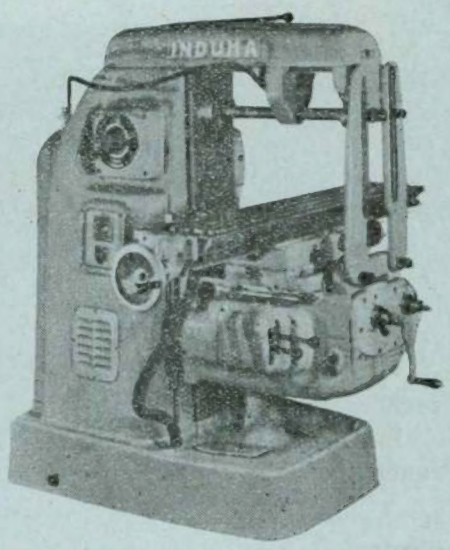
Para grandes potências use correias **COMPASS** com cordas de aço.

GOODYEAR

Distribuidores exclusivos:

CANELAS & FIGUEIREDO, LDA. — R. dos Fanqueiros, 46 — LISBOA

Tornos automáticos
Tornos verticais ou paralelos
Tornos revólver
Limadores
Radiais
Fresadoras
Mandriladoras
Rectificadoras
Talhadoras de engrenagens



ENTREGA IMEDIATA

UNIVERSAL

85, RUA DE S. PAULO, 87 — LISBOA

Telefones 25072/73

ENG.º ANTUNES FERREIRA

EMPREITEIRO DE CONSTRUÇÕES E DE ELECTRO-MECÂNICA

★

CONSTRUÇÕES CIVIS — BETÃO PRÈ-ESFORÇADO — CONSTRUÇÕES INDUSTRIAIS

★

EQUIPAMENTOS ELECTRO-MECÂNICOS

★

REPRESENTANTE PARA PORTUGAL

BOMBAS

SUBMERSÍVEIS
E
HORIZONTAIS
DE
TODOS OS TIPOS

PARA AGUA
QUENTE
E
FRIA

CONTADORES

— RITZ POLLUX —

BETONEIRAS **EIKOMAG**

PAVIMENTOS E PERFILADOS PLÁSTICOS: **GUTAN, Etc.**

LAMINADOS PLÁSTICOS PARA MÓVEIS, Etc.: **DUROPAL**

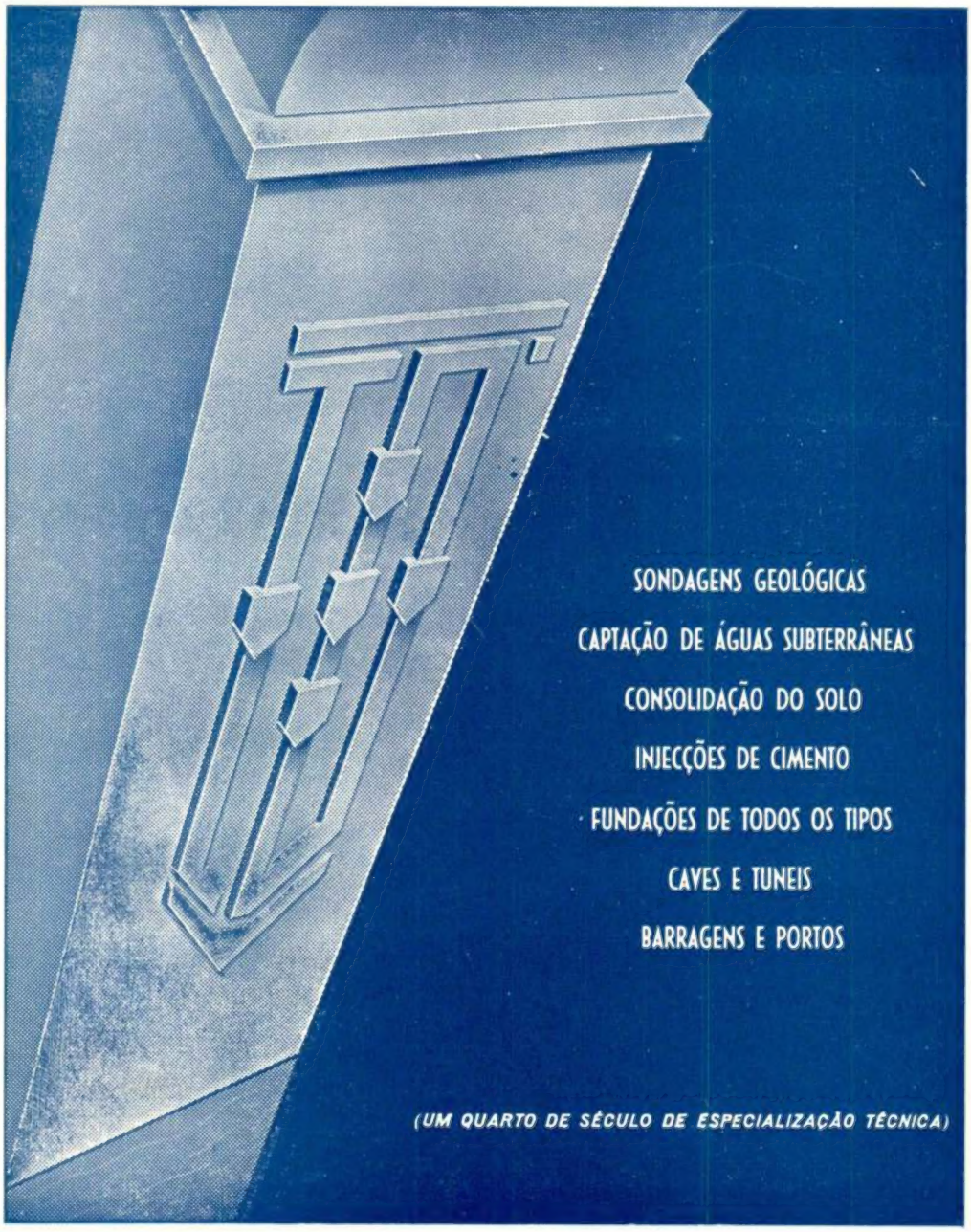
AV. JOÃO XXI, 3-C E 3-D — TEL. 728191/2 — LISBOA

Empresa de Sondagens e Fundações

TEIXEIRA DUARTE, L.DA

PR. DA FIGUEIRA, 18. 3.°
TELEF. 3 2774

LISBOA



BARRAGEM DE PARADELA DO RIO

Está já concluída e a alimentar duas turbinas a Barragem de Paradela do Rio, a nova obra da Hidro-Eléctrica do Cávado, cuja produção anual, média, de energia eléctrica será de 260 milhões de kwh.

A nova barragem tem capacidade para 158 milhões de metros cúbicos de água e a sua altura é de 112 metros, ficando a ser a mais alta do mundo no seu género.

A barragem de Paradela do Rio, como a da Caniçada e a de Salamonde, foi realizada pela Sociedade de Empreitadas e Obras Públicas, consumidora exclusiva de Produtos Mobil.

Mobil

GARANTIA DE ALTA QUALIDADE

Mobil Oil Portuguesa

3000